

# **Análisis de mejora de las propiedades de los bloques de tierra comprimida (BTC) en uso en la región de Ziguinchor, Senegal**

Treball realitzat per:

**Jordi Gomà Ribas**

Dirigit per:

**Miren Etxeberria Larrañaga**

Grau en:

**Enginyeria D'Obres Públiques**

Barcelona, **14/06/2019**

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

**TREBALL FINAL DE GRAU**

# RESUMEN

---

En el trabajo realizado, se pretende analizar las propiedades de los bloques de tierra comprimida de la zona de Blouf, región de Ziguinchor, Senegal. Se considera que este material es muy interesante porque puede ofrecer buenos resultados en sus propiedades si se aplica una buena dosificación, compactación, cantidad de estabilizante y rigurosidad en su producción. Además, la construcción con tierra cruda presenta grandes ventajas, como por ejemplo son: un bajo impacto ambiental, una reducción en el coste de la obra, un menor consumo energético y la capacidad de integración en el paisaje.

El trabajo es planteado en esta zona debido a mi participación en la reconstrucción de la biblioteca del instituto de Mlomp, un pueblo de Blouf. Para dicha reconstrucción, se usaron bloques de tierra comprimida estabilizados con cemento. Este caso real de construcción está también explicado en el trabajo.

Para conocer la zona de estudio se describe su contexto y se realiza una investigación in situ de las construcciones que presenta la zona y sus distintas técnicas constructivas, analizando sus diferentes propiedades.

El objetivo fundamental del trabajo es poder proponer alternativas a la dosificación actual usada para la realización de BTC; que sean más sostenibles y, si puede ser, económicas. Para ello se realiza un estudio experimental donde se ensayan las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad de bloques para cinco dosificaciones distintas en el tipo y cantidad de estabilizante. La mezcla A es la que se usa habitualmente en la zona y contiene un 9% de cemento. Alternativamente se propone, una mezcla B (7% de cemento), mezcla C (6% de cemento y 3% de cal), mezcla D (3% de cemento y 6% de cal) y mezcla E (9% de cal). Se pretende extraer esta cal de las conchas de las ostras que se encuentran al lado de los ríos y son un residuo natural. Sin embargo, no hay recursos suficientes para aplicar tanto calor a las conchas y solo se obtiene carbonato cálcico que se añade igualmente en vez de la cal

En el trabajo, se procederá a hacer una explicación de los ensayos realizados con las distintas probetas de BTC para más tarde realizar una discusión de los resultados obtenidos. Seguidamente se establecerán unas conclusiones en referencia a los objetivos del trabajo.

# ABSTRACT

---

In this study, it is intended to analyze the properties of compressed earth blocks (CEB) in the Blouf area, which is part of the region of Ziguinchor, in Senegal. It is considered that this construction material is very interesting because it can offer good results in its properties if a good dosage, compactions, quantity of stabilizer and rigor in its production is applied. In addition, construction with raw earth has great advantages, such as: a low environmental impact, a reduction in the cost, a lower energy consumption and the ability to be well integrated into the landscape.

The work is planned in this area due to my participation in the reconstruction of the library of the Mlomp institute. Mlomp is a village of Blouf. For this reconstruction, compressed earth blocks stabilized with cement were used. This real case of construction is also explained in the work.

In order to know the studied area, its context is described and also, an in situ investigation is realized in order to identify the constructions presented by the area and its different construction techniques, analyzing their different properties.

The main goal of the work is to be able to propose alternatives to the current dosage used for the production of CEB; which are more sustainable and, if possible, more economic. For this, an experimental study is carried out where the physical-mechanical and durability of blocks are tested for five mixtures different in the type and amount of stabilizer. The mixture A is the one that is usually used in the area and contains 9% of cement. Alternatively, it is proposed a mixture B (7% of cement), a mixture C (6% of cement and a 3% of lime), a mixture D (3% of cement and a 6% of lime) and a mixture E (9% of lime). It is intended to extract this lime from the oyster shells that found next to the rivers and that are a natural waste. However, there are not enough resources to apply so much heat to the shells and it can only get calcium carbonate which is added instead of the lime.

Within the work, an explanation will be given about the tests carried out with the different compressed earth blocks to make a discussion of the results obtained later. Finally, conclusions will be established regarding to work objectives.

# ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	7
1.1	Aspectos generales y motivación .....	7
1.2	Objetivos .....	8
1.3	Estructura de la tesina .....	8
2.	ESTADO ACTUAL DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	10
2.1	Introducción de la región de la Casamance .....	10
2.1.1	Geografía, demografía y clima .....	10
2.1.2	Historia contemporánea.....	11
2.1.3	Economía .....	12
2.2	Tipos de construcciones.....	13
2.2.1	Viviendas familiares.....	13
2.2.2	Comunitarios.....	14
2.2.3	Edificios gubernamentales .....	17
2.3	Tecnologías de construcción de la zona de estudio.....	18
2.3.1	Técnica tradicional.....	18
2.3.2	Adobe.....	19
2.3.3	Bloques de tierra comprimida.....	19
2.3.4	Bloques de hormigón.....	20
2.4	Justificación de la elección.....	20
2.4.1	Propiedades físico-mecánicas .....	20
2.4.2	Coste económico .....	23
2.4.3	Impacto medioambiental .....	23
2.4.4	Conclusiones .....	25
3.	ESTADO DEL CONOCIMIENTO.....	26
3.1	Construcciones con tierra .....	26
3.1.1	Tecnologías de construcción con tierra .....	27
3.2	Definición del BTC.....	28
3.2.1	Historia del BTC.....	28
3.3	Materiales componentes del BTC.....	28
3.3.1	Tierra .....	28
3.3.2	Arcilla .....	29
3.3.3	Estabilizantes y aditivos.....	29
3.3.4	Agua .....	30
3.4	Características de los BTC .....	31



3.4.1	Dimensiones.....	31
3.4.2	Propiedades físicas de la tierra.....	32
3.5	Proceso de fabricación y curado.....	34
4.	FASE EXPERIMENTAL.....	37
4.1	Caracterización de los materiales.....	38
4.1.1	Caracterización de los suelos.....	38
4.1.2	Caracterización del cemento.....	41
4.1.3	Caracterización de la cal.....	42
4.2	Caracterización, fabricación y dosificaciones de los BTC.....	45
4.2.1	Caracterización de la mezcla de control.....	45
4.2.2	Descripción del proceso de fabricación y de curado.....	46
4.2.3	Comprobación de la mezcla de control.....	49
4.2.4	Dosificaciones (mezclas) alternativas.....	52
4.3	Ensayos de caracterización.....	53
4.3.1	Propiedades físicas.....	53
4.3.2	Propiedades mecánicas.....	54
4.3.3	Propiedades de durabilidad.....	55
5.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	63
5.1	Propiedades físicas.....	63
5.1.1	Densidad.....	63
5.2	Propiedades mecánicas.....	64
5.2.1	Ensayo de resistencia a compresión no confinada.....	64
5.3	Propiedades de durabilidad.....	65
5.3.1	Ensayo de Humectación- Secado (Wet&Dry).....	65
5.3.2	Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET).....	67
5.3.3	Ensayo de absorción de agua por capilaridad.....	68
5.3.4	Resistencia a la acción de goteo.....	72
6.	CASO REAL: RECONSTRUCCIÓN DE LA BIBLIOTECA DE UN INSTITUTO.....	74
6.1	Introducción.....	74
6.2	Preparación.....	75
6.3	Fase de ejecución.....	77
6.3.1	Producción de los BTC.....	78
6.3.2	Reconstrucción del muro.....	79
6.4	Valoración personal.....	85
7.	CONCLUSIONES.....	86

7.1	Fase experimental.....	86
7.2	Reconstrucción de la biblioteca.....	87
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	89
9.	ANEJOS .....	91

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 Aspectos generales y motivación

En un mundo cada vez más globalizado las oportunidades de trabajar y cooperar junto con otros países y culturas son cada vez mayores. Es por ello que nosotros, los ingenieros, debemos salir fuera de nuestros países para descubrir nuevas metodologías, distintos razonamientos y compartir conocimientos. Por otro lado, no podemos olvidarnos que vivimos en un mundo sesgado dónde unos pocos tenemos acceso al conocimiento, al avance tecnológico y sanitario, a las comodidades y facilidades mientras el resto muchas veces sufren por poder sobrevivir. Debemos tener presente la memoria histórica que nos recuerda como las relaciones entre nuestros países y los del tercer mundo han sido forjadas desde el abuso de poder. Y es por ello, que tenemos la responsabilidad de cambiar estas relaciones y empezar a cooperar y trabar conjuntamente con ellos para construir un nuevo futuro. Así entonces, este trabajo pretende ser parte de este *modus operandi* expuesto.

Es de menester mencionar también, la motivación que tiene este estudio de ofrecer recursos más sostenibles para la construcción. Las técnicas tradicionales con arenas (como es el caso del BTC) son cada vez más estudiadas por ingenieros, arquitectos y constructores. La emergencia ecológica en la que nos hallamos nos mueve en búsqueda de paradigmas distintos dónde ya no tiene cabida el cemento como elemento principal de la construcción. Actualmente, existen grandes estructuras construidas con técnicas tradicionales que después de siglos se mantienen en pie. Sin embargo, el uso de hormigón es tan reciente en la historia de la construcción que no podemos asegurar que grandes estructuras vayan a tener la misma durabilidad. Este hecho es una gran baza para poner los esfuerzos en recuperar estas técnicas ancestrales y reducir los impactos ambientales.

El año pasado tuve la oportunidad de participar voluntariamente en un proyecto de cooperación internacional en Mlomp, Senegal. Durante tres meses y medio participe en la reconstrucción de una biblioteca del instituto del pueblo. Nuestro objetivo era demoler una de las paredes, que estaba infestada de termitas, construidas con la técnica tradicional de allí y construirla de nuevo pero esta vez con Bloques de Tierra Compactada (BTC). Este proyecto es uno de los muchos que ha realizado la asociación Base A por todo el mundo. Una asociación sin ánimo de lucro cuyos miembros son alumnos y exalumnos de arquitectura de la UPC en su mayoría.

Antes de ir hacia Senegal pensé que sería una buena oportunidad mi estancia allí para realizar mi Trabajo Final de Grado, y como el proyecto se realizaba con BTC encontré interesante poder profundizar e incidir en este tipo de construcción. Finalmente, con el asesoramiento de mi profesora Dra. Miren Etxeberria, decidimos analizar la metodología y tipos de dosificaciones con las que con las que ellos construían los BTC para luego intentar proponer propuestas de mejora.

Este estudio está realizado en dos fases. En primer lugar está la fase hecha en terreno, en Mlomp y Thionck Essyl, dos pequeños pueblos de la región de Ziguinchor, Senegal. La segunda fase ha sido realizada en Barcelona a la vuelta.

## 1.2 Objetivos

El propósito de este trabajo es poder ayudar a la zona de Blouf (de la región de Ziguinchor), mientras a la vez, se estudia y promueve la utilización de técnicas constructivas más sostenibles. Para que sea posible se plantean varios objetivos principales.

En primer lugar, se pretende tener un impacto directo ayudando a reparar la biblioteca del instituto del pueblo. Esta se encontraba en mal estado ya que uno de sus muros estaba infestado por termitas y debía ser demolido y reconstruido con Bloques de Tierra Compactada. Así mismo, también se debía reconstruir un porche anejo a la biblioteca que se había caído por culpa de vientos huracanados. Para cumplir este objetivo se llevan recursos humanos y económicos a la zona.

En segundo lugar, este estudio pretende alcanzar un mayor conocimiento de la técnica de fabricación BTC que se usa en la región de Blouf, Ziguinchor. Un estudio experimental que consiste en comparar distintas dosificaciones de BTC cambiando el porcentaje de estabilizante que se utiliza e incluso variando los estabilizantes entre cemento, cal, o ambos. Se compararan y analizaran los efectos en la resistencia mecánica y la durabilidad de los bloques.

El objetivo final de este estudio es poder encontrar una alternativa válida a la dosificación usada actualmente que garantice una resistencia y durabilidad mínimas mientras se reduce el coste económico y ecológico de la construcción. Es, por tanto, un objetivo que nos encauza en la búsqueda de alternativas constructivas más sostenibles.

Como objetivos específicos se mencionan los siguientes:

- Aprender los sistemas de construcción locales mediante la colaboración
- Llevar adelante una construcción a escala real
- Caracterizar los materiales utilizados
- Obtener las propiedades mecánicas de los bloques fabricados
- Evaluar las propiedades de durabilidad

## 1.3 Estructura de la tesina

En el primer capítulo de este trabajo se da una introducción general y se plantean los objetivos que se buscan con el desplazamiento y el desarrollo de este proyecto experimental.

En el segundo capítulo se describe y estudia el estado actual de la zona de estudio. Empezando con una introducción geográfica, demográfica, climatológica, histórica y económica

de la región y seguido de un muestreo de tipos de construcción que presenta la zona. También se analizan las distintas tecnologías de construcción que coexisten en la zona y se realiza un estudio comparativo entre ellas donde se concluye que la técnica del BTC es la más interesante de ser estudiada.

El tercer capítulo aborda el estado de conocimiento del material BTC, describiendo su definición, historia, materiales componentes, características y proceso de fabricación y curado. Previamente se hace una pequeña introducción a las construcciones con tierra de manera genérica.

En el cuarto capítulo se describe el desarrollo de la fase experimental. En un primer lugar se caracterizan los materiales usados como suelos, cemento y cal. Seguidamente se caracteriza la dosificación que usan allí para la fabricación de BTC, la cual sirve de referencia como mezcla de control, y se comprueba su validez. También se describe el proceso de producción y se enuncian las dosificaciones alternativas que se proponen. Por último, se detallan los ensayos que se quieren realizar para comprobar las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad de los bloques.

En el quinto capítulo se analizan los resultados obtenidos de cada ensayo realizado en la fase experimental: las propiedades físicas de densidad, las propiedades mecánicas de resistencia y las propiedades de durabilidad de humectación-secado, erosión acelerada, succión capilar y resistencia de acción al goteo.

En el sexto capítulo se expone el caso real llevado a cabo durante los tres meses y medio. Aunque se menciona el levantamiento del porche con las maderas, como el estudio es sobre la técnica de BTC, se describe mejor y minuciosamente la reconstrucción del muro de la biblioteca. Primeramente, se explica la preparación previa en Barcelona y luego se detalla la producción de los BTC, la demolición y reconstrucción del muro y los acabados de la biblioteca. Finalmente, se expone una valoración personal.

En el séptimo capítulo se enuncian las conclusiones aprendidas de la fase experimental y del caso real de construcción. Finalmente, en el octavo capítulo se encuentra la bibliografía consultada para la elaboración del documento y en el noveno capítulo se encuentran anejos con el cronograma y presupuesto del caso real, y con los carteles informativos del proyecto que creamos para poder recaudar fondos.

## 2. ESTADO ACTUAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

El estudio se realiza en la unión de comunas conocida como Blouf, y más concretamente en su capital, Thionck Essyl. Es el poblado más importante de Blouf con una población de 11.000 habitantes. Blouf pertenece al departamento de Bignona que a su vez pertenece a la región administrativa de Ziguinchor (anteriormente conocida como la Baja Casamance).

### 2.1 Introducción de la región de la Casamance

#### 2.1.1 Geografía, demografía y clima

La Casamance está ubicada en el sur del Senegal. Delimitada por Gambia en el Norte, por el océano Atlántico en el Oeste, Guinea y Guinea Bissau en el Sur y el río Kolountou en el Este que hace de frontera natural con la región de Tambacounda. Esta última formó parte de la Casamance en la antigüedad. Sus regiones administrativas son Ziguinchor al oeste, Kolda al este y, desde 2008, Sédhiou en el centro. [1]



Figura 1- Mapa de Senegal (la Casamance coloreada en rojo) [2]

El hito geográfico más relevante es el río Casamance, y de allí coge el nombre toda la región. Se trata de un lugar repleto de ríos, marismas y meandros, con grandes superficies forestales y de sabana. Es la zona más fértil de Senegal aunque las expansiones de bosque están gravemente amenazadas por la tala ilegal de árboles. [1]

Se estima que en la Casamance viven 2 millones de los 15,5 millones de personas que habitan en todo Senegal. La mayoría de la población son de la etnia diola, entre un 60-65%, aunque no llegan

a ser ni un 4% de la población de Senegal. Mientras que los wolof, que constituyen el grupo étnico mayoritario de todo el país no representan ni el 5% de la Casamance. [3]

La lengua principal del pueblo es, a su vez, el diola, que tiene incontables dialectos, casi tantos como pueblos se encuentran en la Casamance. Los principales serían el *boulouf*, el *fogny* y el *kasa*. Son también muy usados, sobretodo en aspectos administrativos y burocráticos el francés y el wolof. Incluso, en lugares más meridionales, aún se usa el habla de criollo portugués, aun presente de la época de colonización y debido a su proximidad con Guinea Bissau. El 75% del pueblo diola es musulmán, mientras que un 17% son cristianos (principalmente católicos) y el 8% restante se dedican al culto regional animista. [1]

La región entera la Casamance tiene un clima tropical de sabana, con calor y bastante seco. Las temperaturas son elevadas durante el día y raramente bajan de los 20°C por la noche, siendo los meses de diciembre y enero los más frescos. En las zonas costeras la sensación de calor se ve atenuada por la proximidad del mar. De esta manera, cabe considerar que el clima será distinto entre la zona de costa y la zona más oriental. [1]

Las estaciones de lluvia se sitúan entre junio y octubre teniendo una durada de cuatro o cinco meses. Las precipitaciones son mayores al resto del país lo que permite una fauna y flora distinta al centro o Norte de Senegal. [1]

### 2.1.2 Historia contemporánea

Los primeros europeos en llegar, a mediados del siglo XV, a la Casamance fueron los portugueses que la convirtieron en fuente de esclavos para su lucrativo negocio. Sin embargo, tras la Conferencia de Berlín y el reparto de África este territorio pasó a formar parte del África Occidental Francesa. Pero los diola (pueblo autóctono de la región), aferrados a sus ancestrales tradiciones y a su peculiar forma de vida, ofrecieron una tenaz resistencia a la colonización. Francia decidió utilizar a los wolof para someter a los diola y los puestos de la Administración eran ocupados mayoritariamente por gente venida del norte, lo que acrecentó el malestar diola hacia esta etnia. [3]

Esta situación se siguió produciendo tras la independencia de Senegal, en 1960. La llegada de colonos del norte durante los años previos y posteriores a la independencia no hizo sino aumentar este malestar, sobre todo tras un reparto de tierras entre los recién llegados, que los habitantes de la Casamance consideraban “una usurpación”. Las diferencias entre los norteños y los diolas eran notables, no sólo lingüísticas, sino también culturales. Fue en este caldo de cultivo que se fue fraguando el sentimiento de discriminación que estalló a principios de los años ochenta. [3]

El 26 de diciembre de 1982 varios cientos de personas se concentraron en el pueblo de Mangagoulak y se encaminaron en una manifestación pacífica de pocos kilómetros hasta la ciudad

de Ziguinchor, capital regional. Una vez en el Palacio del Gobernador quitaron la bandera de Senegal e izaron en su lugar una sábana blanca. Los gendarmes, muy nerviosos, comenzaron a disparar contra la población. Este acto de protesta y la posterior represión, que provocó varios muertos y heridos (se desconoce la cifra real), se considera el estallido oficial de la rebelión en una región que reclama la independencia del resto de Senegal. [2]

Detrás de aquella manifestación estaba el Movimiento de Fuerzas Democráticas de Casamance (MFDC), un grupo independentista creado en 1947, integrado en su mayor parte por miembros de la etnia diola, mayoritaria en la Baja Casamance, que se sienten maltratados y discriminados por la etnia dominante en el resto del país, los wolof. Frente a algunos autores que apuntan a un problema de religión, el conflicto, en realidad, hunde sus raíces en razones geográficas, históricas, políticas y, como casi siempre, económicas. [2]

Los manifestantes detenidos en diciembre de 1982 fueron condenados a penas de hasta cinco años de cárcel, lo que provoca que el MFDC se radicalice. El 18 de diciembre de 1983 al amanecer, los hombres de abad Senghor, armados con fusiles de caza y machetes, atacan la ciudad de Ziguinchor. Los enfrentamientos con los soldados senegaleses se prolongan hasta el mediodía y producen una veintena de muertos y un centenar de heridos, lo que se ha bautizado como el domingo rojo. Tras el combate, los asaltantes que quedan con vida se refugian en los bosques cercanos. La hermosa cubierta vegetal de Casamance favorece el nacimiento del maquis y el MFDC se convierte en una guerrilla. [2]

Desde entonces, el conflicto siempre ha estado presente y aunque sea considerado “de baja intensidad”, dada a su gran longevidad en el tiempo, se ha cobrado más de 5.000 muertes. En diciembre de 2011 se produce el último conflicto armado entre el MFDC y el ejército senegalés. Y en 2016, después de 4 años de “calma y paz” Francia deja de considerar a la Casamance como “zona de riesgo”. Este dato es importante ya que abre un nuevo futuro a las relaciones de la zona con el resto del país y del mundo ya sea a nivel económico, burocrático o turístico. Sin embargo, siguen existiendo reductos de la MFDC guerrillera en las zonas más sureñas escondidas en los bosques. De manera, que aún no se encuentra el escenario ideal que garantice una seguridad y estabilidad total. [4]

### 2.1.3 Economía

La Casamance encierra enormes posibilidades en el ámbito de la agricultura, el turismo y el comercio.

Actualmente el sector que predomina sigue siendo el primario con la pesca, la agricultura y la silvicultura como actividades principales. Gracias a la proximidad de ríos y meandros se trata de una



zona rica en recursos haliéuticos. En la zona de Ziguinchor se contabiliza una actividad económica pesquera de 35 millones de euros durante la ventana de 2017. Y no solamente sacan provecho de la pesca sino que tienen una gran tradición en el cultivo de ostras en los meandros. [1]

En la proximidad de los ríos se cultiva principalmente arroz. También habría que destacar, en menor medida, el cultivo de cereales, hortalizas, lechuga, anacardos, mangos, cítricos y aceite de palma. También es muy potente la actividad silvícola con fines constructivos. [1]

## 2.2 Tipos de construcciones

Blouf es una zona en plena expansión y crecimiento. Es por ello que en cualquier ciudad y poblado que se visite se encuentra llena de edificios en plena construcción. La globalización y, sobretudo, la calma y estabilidad en la Casamance de las últimas décadas ha producido las nuevas construcciones fueran cada vez más parecidas a las que tenemos en el primer mundo. Este nuevo paradigma constructivo ha producido un cambio significativo en el paisaje arquitectónico de ciudades y pueblos, mezclando distintos tipos de técnicas constructivas.

El análisis de estas construcciones se realiza en Thionck Essyl que, al ser la capital de Blouf, se considera un ejemplo más representativo de toda la zona de lo que sería el pueblo dónde yo habité, Mlomp. Toda la información que se muestra en este apartado es adquisición propia consultada con los obreros y albañiles más experimentados de la ciudad.

### 2.2.1 Viviendas familiares

En Blouf nos encontramos que son las construcciones predominantes. Entorno al 80% de las edificaciones de Thionck Essyl son viviendas uni o plurifamiliares. Aunque hay unas pocas nuevas viviendas, que tienen dos plantas, prácticamente todas son de una planta. La técnica de construcción usada para la vivienda depende mucho de la capacidad económica que tenga la familia. Dicha economía también repercutirá en la duración, calidad y resultado final de la obra. Es común encontrar viviendas sin finalizar o con acabados terriblemente ejecutados. En las siguientes fotos observamos distintas viviendas (por orden de izquierda a derecha y de arriba abajo): una vivienda en construcción hecha con BTC, una vivienda hecha con la técnica tradicional, una vivienda de dos pisos hecha con bloques de hormigón y una vivienda rebozada con cemento.



Figura 2- Fotografías de viviendas familiares en Thionck Essyl. Fuente: propia

## 2.2.2 Comunitarios

Nos encontramos una serie de edificaciones y equipamientos comunitarios que, durante el día son el centro neurálgico de la población, juntamente con las calles dónde suele reposar la gente bajo la sombra de un árbol.

Los edificios de mayores dimensiones son las escuelas/institutos, el hospital y las mezquitas.



Figura 3- Antiguo ambulatorio (izquierda) y actual hospital (derecha) de Thionck Essyl. Fuente: propia



Figura 4- Liceo francés de Thionck Essyl. Fuente: propia



Figura 5- Escuela de primaria (fotos de arriba) e instituto (fotos de debajo) de Thionck Essyl. Fuente: propia





Figura 6- La gran mezquita de Thionck Essyl. Fuente: propia

Luego encontramos otros pequeños sitios, también de uso comunitario como los siguientes.



Figura 7- (se izquierda a derecha y de arriba abajo) Un centro cultural, una oficina de correos, una biblioteca y pequeños negocios

### 2.2.3 Edificios gubernamentales

En este caso, nos encontramos con el ayuntamiento, que está en medio del pueblo bien rodeado de palmeras y plantas que le dan elegancia. Y también encontramos una aduana al principio del pueblo donde los militares ejercen su servicio.



**Figura 8-** El ayuntamiento de Thionck Essyl con palmeras en su entrada (arriba), la caserna militar de la aduana (debajo) y los neumáticos que están delante de la aduana para frenar los vehículos (derecha)



## 2.3 Tecnologías de construcción de la zona de estudio

A continuación se definen las tecnologías constructivas más desarrolladas en la zona de estudio: la técnica tradicional, el Adobe, los BTC y los bloques de hormigón

### 2.3.1 Técnica tradicional

El modelado manual de muros con bolas de barro plástico o pastas plásticas de barro, es una técnica tradicional muy extendida en África y Asia y también conocida en Europa y América. Todas estas técnicas emplean barro plástico sin mortero, uniéndolo mecánicamente a través del compactado, pegado, apretado o lanzado. [5]

Una de las técnicas tradicionales de construcción con barro más conocida es el Cob, originaria de Devon, Reino Unido.

El Cob es una técnica tradicional de construcción que consiste en coger la capa de subsuelo que se encuentra entre el suelo orgánico y el lecho de rocas, mezclarla con fibras vegetales y agua y colocarla en forma de pared produciendo una estructura monolítica. [6] Los agregados dentro de la mezcla deben estar bien graduados. Una posible buena mezcla según L. Keefe para el Cob es: 30-40% de grava, 25-30% de arena, 10-20% de limo y 10-25% de arcilla. [7] Resultado obtenido a través de la caracterización de muestras de pared Cob que existen en Devon en buenas condiciones. La adición de fibras es un punto importantísimo en el Cob aunque ocasionalmente se han encontrado muros hechos con esta técnica y sin fibras. Sin embargo, los expertos coinciden en la importancia de la fibra. Su rol es muy importante para garantizar que la mezcla se seque de manera uniforme y evitar grandes fisuras por retracción. [6]

La técnica tradicional de la zona de estudio (Blouf) es muy parecida a la del Cob. El proceso de fabricación (explicado por un obrero especialista de la zona) es el siguiente:

- Preparación de la mezcla: Se limpia de impurezas el suelo “sable rouge” que ya contiene arcilla. Se añaden agua, fibras vegetales (paja de arroz, fibra de coco o ambas) y se mezclan sobre la superficie pisoteando con los pies descalzos. Si la mezcla está muy húmeda se deja secar hasta tener una consistencia moldeable.
- Alzamiento de los muros: Se realizan bolas de mezcla manualmente que se lanzan, amontonándolas, haciendo hiladas diarias de 50-60 cm de altura y 30-40 cm de espesor. Cuando esta se ha secado y endurecido se procede a construir la siguiente hilada.

Para garantizar la estabilidad de la vivienda se debe construir la pared sobre cimientos de piedra natural o de hormigón. Y para garantizar que la humedad del suelo no penetre la pared, los cimientos deben tener una elevación de 20-30 cm sobre el suelo.

### 2.3.2 Adobe

Los bloques de barro producidos a mano rellenos en moldes y secados al aire libre se denominan Adobes. [5] Una buena dosificación para los Adobes debe tener: 30-75% de gravas finas más arena, 10-30% de limo y 10-40% de arcilla. [8] Generalmente, se puede afirmar que los adobes deben tener suficiente arena gruesa que le permita alcanzar una alta resistencia a la compresión con un mínimo de retracción. Y a la vez deben contener suficiente arcilla para obtener una buena cohesión que permita la manipulación de los bloques. [5]

Según J.J. Cid el proceso de fabricación consta de 3 fases: [9]

- Mezclado de tierra: Preparación adecuada de la tierra (limpiar impurezas) con mezcla de fibras de origen vegetal y abundante agua.
- Moldeado: El molde utilizado (gradilla o adobera) puede ser simple o múltiple. La mezcla se vierte dentro del molde y se enrasa con una tablilla, paleta o alambre; el molde se retira inmediatamente. El proceso de desmoldar adobes se puede mejorar aplicando previamente agua o arena, en el caso de moldes de madera, o aceite, en el caso de moldes de acero. Las dimensiones de los bloques en la zona de estudio son de 20 x 40 x 10 cm.
- Secado: Los adobes se dejan secar al sol, en la posición que se han desmoldado. Pasados 2 o 3 días son volteados sobre el canto lateral para permitir el secado uniforme de la pieza durante aproximadamente entre 7 y 15 días dependiendo de la estación del año y las condiciones climáticas del momento. En función del grado de humedad ambiental variará el tiempo de secado. Durante el secado los adobes deben protegerse de la incidencia directa del viento y el agua. Una vez secados, los adobes pueden ser almacenados en pilas de hasta 1,5m de altura y deben permanecer bajo cubierto.

Para la construcción de los muros se debe usar mortero con la misma mezcla de los adobes. La capa de mortero debe ser delgada para evitar fisuras de retracción. El uso de morteros con cemento no es aconsejable porque son muy rígidos y provocan fisuras. Tampoco es aconsejable usar morteros con cal ya que daña la piel y puede provocar alergias. [5]

### 2.3.3 Bloques de tierra comprimida

Esta técnica es la que se pretende estudiar en esta tesina. Por lo tanto, se le dedicará un apartado, más adelante, donde se explicará con mayor profundidad.

En este apartado se quiere tratar otro tipo de construcción característico de la zona de Blouf que no se considera construcción con tierra, simplemente, porque contiene una cantidad ínfima de arcilla o no contiene. Se trata de los bloques de hormigón.

### 2.3.4 Bloques de hormigón

La definición que nos proporciona el portal de construcción “Construmatica” es la siguiente: *“El bloque de hormigón es un paralelepípedo rectangular prefabricado con numerosas celdas de paredes delgadas, que los convierten en piezas fáciles de maniobrar en obra y muy aislantes. Se elaboran a partir de morteros y hormigones de consistencia seca (de árido pequeño) comprimiéndolos y haciéndolos vibrar en moldes metálicos.”* [10]

A diferencia de en Barcelona que suele ser un material prefabricado, se realiza *in situ* con la ayuda de moldes. El proceso de fabricación (explicado por un obrero especialista de la zona) es el siguiente:

- Realización de la mezcla: Se mezcla en seco el suelo “sable blanche” con el cemento. Cuando la mezcla es homogénea se le añade el agua suficiente para que la mezcla sea manipulable.
- Moldeado: Se sitúa la mezcla en el molde y se realiza el vibrado de la mezcla con la ayuda de un palo de manera manual. Una vez comprimida la mezcla en el molde y sacado el ladrillo de este se dejan en el suelo y se dejan secar.
- Curado y secado: Debido a las fuertes temperaturas se debe regar los bloques diariamente para que no se evapore el agua y el cemento pueda hidratarse. El curado puede durar de 7 a 10 días.

Las dimensiones del ladrillo son de 20x40x15 cm. Los bloques presentan un interior hueco que permite el paso de las barras de acero y el relleno del mortero.

## 2.4 Justificación de la elección

A continuación se realiza un estudio comparativo entre las cuatro tipos de tecnologías constructivas mencionadas anteriormente y se justifica porqué se quiere centrar el estudio en la técnica de Bloques de Tierra Compactada.

### 2.4.1 Propiedades físico-mecánicas

En la tabla 1 se puede observar la correlación entre densidad de bloque y resistencia a compresión.



**Tabla 1- Densidades y resistencias a compresión de distintos tipos de construcción [11] [12] [13]**

	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia a compresión (MPa)</b>
<b>Cob</b>	1615	0,53-1,72
<b>Adobe</b>	1200-1500	1
<b>BTC</b>	1700-2000	1,0-5,0
<b>BTC bioterre</b>	1787,5	10,8
<b>Bloque hormigón</b>	1700-2200	>20

A mayor densidad, el bloque responderá con mejor y mayor resistencia a la compresión. Las técnicas de construcción con tierra adquieren mayores rendimientos cuando se tiene en cuenta la compactación de la tierra. Por ello, los BTC ofrecen mejores resultados que el cob o el adobe llegando a resistencias bastante elevadas como es el caso del BTC bioterre que crea el grupo Plana [13]. Se observa que las mayores resistencias las ofrece el bloque de hormigón gracias a la densidad obtenida por el vibrado y el uso de cemento.

En referencia a los niveles de resistencia característica de la tierra, las fuentes son muy variables y no se tiene un conocimiento riguroso de los métodos de ensayo. [11]

En la tabla 2 se muestran los valores de conductividad térmica para una densidad. Se puede observar que las densidades pequeñas en los muros favorecen una menor conductividad térmica y por lo tanto, un mayor aislamiento. Es importante que los muros tengan un buen aislamiento para tener un mejor control de la temperatura interior de las edificaciones. También se observa que, en general, las construcciones con tierra ofrecen un mejor aislamiento térmico que las construcciones hechas con hormigón.

**Tabla 2- Conductividad térmica de distintos tipos de construcción [5] [11] [13] [14]**

	<b>densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>conductividad térmica (W/mk)</b>
<b>Cob</b>	1450	0,6
<b>Adobe</b>	1200	0,46
<b>BTC</b>	1700	0,81
<b>BTC bioterre</b>	1787,5	0,55
<b>Hormigón armado</b>	2300-2500	2,3
<b>Hormigón en masa in situ</b>	2000-2300	1,65
<b>B. de hormigón convencional</b>	860	0,91

Los muros de tierra, tradicionalmente, no han requerido ningún tipo de aislamiento térmico ya que, aunque su factor de transmisión térmica es comparable al de otros materiales, su inercia térmica permite acumular gran cantidad de calor. [11] Esta inercia térmica permite mantener un clima interior fresco durante el día, cuando hace mucho calor en el exterior, y cambiar a un clima interior cálido por la noche, cuando bajan las temperaturas. Esta capacidad auto-reguladora genera una gran sensación de confort.

En la tabla 3 se puede apreciar la resistencia al fuego que ofrecen los distintos tipos de construcción.

**Tabla 3- Resistencia al fuego de distintos tipos de construcción [11]**

	<b>espesor(m)</b>	<b>REI (min)</b>
<b>Muros de tierra</b>	0,15	90
<b>B. Hormigón</b>	0,16	90
<b>B. Hormigón armado</b>	0,2	120

En este caso se obtiene una resistencia igual o muy parecida con todos los tipos de construcción. Sin embargo, según el código técnico de la edificación [15], las construcciones con tierra pueden ser catalogadas como M0. Es decir, que las construcciones con tierra ni son combustibles, ni son inflamables. Además, la tierra no solo no propaga el fuego sino que no emite ningún gas tóxico. [11]

En la tabla 4 se muestran los valores de comportamiento acústico.

**Tabla 4- Comportamiento acústico de distintos tipos de construcción [11] [13]**

	<b>densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>espesor(m)</b>	<b>Ra(dB)</b>
<b>Adobe</b>	1200	0,3	53,04
<b>BTC</b>	1700	0,3	56,32
<b>BTC bioterre</b>	1787,5	0,3	54
<b>Hormigón armado</b>	2300	0,3	59,16
<b>Hormigón en masa in situ</b>	2000	0,3	57,85
<b>B. Hormigón convencional</b>	860	0,2	46,1

La cualidad de aislamiento de un muro tiene correlación directa con la densidad de este. Para una pared de tierra de entre 0,15-1,2 m varía entre 49-70 dB cumpliendo con las normativas actuales de aislamiento acústico. [11] Con un espesor de 0,3 m observamos que las construcciones con tierra ofrecen un aislamiento equivalente a otros materiales convencionales.

## 2.4.2 Coste económico

Para comprobar el coste que puede tener cada tipo de construcción se decide tener en cuenta los precios de los distintos materiales necesarios que se pueden encontrar en Thionck Essyl.

Tabla 5- Precios de los materiales de construcción en Thionck Essyl

	Precio camión 1		Precio 1kg
	FCFA	€	€
<b>Suelo "Sable rouge" (cantera Dianki)</b>	62500	96,15	0,10
<b>Suelo "sable blanche" (cantera Thionck Essyl)</b>	20000	30,77	0,03
<b>Cemento</b>	75000	115,38	0,12
<b>Fibras vegetales</b>	No existe un precio estipulado y a la vez fáciles de obtener de manera gratuita		

En la tabla 5 podemos observar que el cemento es el elemento más caro de todos, seguido por el suelo tipo "Sable rouge".

El precio de este suelo es más caro porque la cantera de Dianki queda a más de 12 km de distancia y, por lo tanto, se cobra una gran parte de transporte. También se debe tener en cuenta que hay pocas canteras de este tipo de suelo porque es el que se encuentra con más facilidad. Esto significa que en el propio terreno dónde se quiera edificar podemos encontrar este suelo. Haciendo un buen balance de tierras entre tierra extraída para construir los cimientos y la que necesitamos para construir la edificación podemos obtener la tierra "sable rouge" de manera totalmente gratuita.

Por lo tanto, podemos concluir que los materiales como el cob o el adobe que no necesitan cemento serán los más económicos. De la misma manera, el BTC, aunque sea estabilizado con cemento, al usar pocas cantidades será más barato que el bloque de hormigón.

## 2.4.3 Impacto medioambiental

Actualmente, uno de los parámetros que se debe tener más en cuenta en el mundo de la construcción es el impacto que se genera sobre el medioambiente. Es vital, e incluso urgente, buscar materiales constructivos sostenibles. Por lo tanto, se considera clave este apartado para justificar la elección del BTC como material de estudio.

En las siguientes tablas se observan las emisiones de dióxido de carbono que emiten cada una de las tipologías de construcción.

**Tabla 6- Comparación de sostenibilidad entre adobe y hormigón [11]**

	<b>densidad</b>	<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg /kg)</b>	<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg /m<sup>3</sup>)</b>
<b>Adobe</b>	1200	0,06	74
<b>Hormigón en masa in situ</b>	2360	0,14	320
<b>Hormigón prefabricado, 2% de acero</b>	2500	0,18	455

**Tabla 7- Comparación de sostenibilidad ambiental entre BTC y hormigón [16]**

	<b>espesor (m)</b>	<b>energía consumida (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>emisiones CO<sub>2</sub> (kg/m<sup>2</sup>)</b>
<b>BTC estabilizado</b>	0,24	110	16
<b>B. Hormigón</b>	0,2	235	26

En las tablas 6 y 7 se puede apreciar como las técnicas constructivas con tierra siempre emiten menos cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>. La construcción con hormigón emite emisiones 2 o 3 veces mayores que el resto de construcciones. La mayor cantidad de emisiones residen en el uso del cemento como se puede comprobar en la tabla 8.

**Tabla 8- Energía consumida y emisiones de CO<sub>2</sub> de distintos materiales [17]**

	<b>energía consumida (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>emisiones (kg CO<sub>2</sub>/kg)</b>
<b>CEM I Portland, 94% Clinker</b>	5,5	0,93
<b>CEM II/A-V</b>	5,28-4,51	0,88-0,75
<b>CEM II/B-V</b>	4,45-3,68	0,74-0,61
<b>CEM II/B-S</b>	4,77-4,21	0,76-0,64
<b>CEM III/A</b>	4,17-3,0	0,63-0,38
<b>CEM II/B</b>	2,96-2,4	0,37-0,25
<b>Suelo estabilizado con 5% Cemento</b>	0,68	0,06
<b>Suelo estabilizado con 8% Cemento</b>	0,83	0,082
<b>Arena</b>	0,081	0,0048

Así entonces, queda patente que para disminuir el impacto medioambiental en cualquier tipo de construcción una buena solución es reducir el uso de cemento o incluso no hacer ningún uso.

## 2.4.4 Conclusiones

En el apartado de propiedades físicas se observa un claro ganador, el bloque de hormigón. Esto se da por su alta capacidad de resistencia a compresión y su mayor densidad. No hay otro material que ofrezca tales resultados, sin embargo, no significa que los otros materiales no puedan ser usados. Hay edificaciones o estructuras que no necesitan soportar cargas muy grandes y para estas se pueden usar técnicas con tierra cruda. Cabe destacar, que el BTC bioterre que está estabilizado con cemento, cal y materiales puzolánicos ofrece resistencias mucho más grandes que las otras técnicas con tierra. [13] Aún está lejos de ofrecer los valores que ofrece el hormigón pero da muy buenos resultados. En las otras propiedades ofrecen resultados similares menos en la capacidad térmica, donde las construcciones con tierra ofrecen una mejor capacidad de regulación de la temperatura.

En el apartado de coste económico se observa que el material con mayor coste es el cemento. Eso convierte a las técnicas de cob y adobe como las económicas ya que no usan este material. La técnica de BTC estabilizado bien es cierto que usa cemento pero poco, dado que la normativa permite un máximo de 15% de estabilizantes [18]. Así entonces, dependiendo de los recursos y tipo de obra, también se puede considerar un material con un coste competente. Sin duda, como material, el bloque de hormigón tiene el precio más elevado. También es verdad que cuando se trata de bloques prefabricados, necesitas menos mano de obra y el coste total puede ser más competente. Sin embargo, en la zona de Blouf no se venden bloques prefabricados si no que los construyen los obreros in situ con la ayuda de moldes. Así entonces, las distintas técnicas, al final, necesitan la misma mano de obra.

Según el impacto medioambiental, se observa que la producción de cemento conlleva grandes emisiones de CO<sub>2</sub>. Así, entonces, se determina que las construcciones con tierra son mucho más sostenibles. Se considera que el criterio medioambiental es de gran importancia puesto que la sostenibilidad en la construcción es uno de los retos de desarrollo más importantes que tienen la ingeniería civil junto a la arquitectura. No se debe menospreciar tampoco, el impacto visual de los distintos materiales. Las construcciones que usan tierra del mismo sitio dónde se realiza la construcción adquieren el mismo color que el resto de la zona integrándose perfectamente en el paisaje. En cambio, los materiales que tienen mucho cemento dejan un color grisáceo que no siempre queda bien en el entorno y se debe pintar con otros colores para tener un buen resultado.

Atendiendo a las conclusiones anteriores se elige el BTC estabilizado como material con más interés de estudio ya que puede ser un recurso económico, sostenible y puede ofrecer propiedades físico-mecánicas bastante competentes. Un reto a mejorar en estos es su durabilidad.

### 3. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

En este apartado se explica en detalle el Bloque de Tierra Comprimido, que previamente se ha elegido como material constructivo de la zona de Blouf interesante de ser estudiado y analizado.

#### 3.1 Construcciones con tierra

Previamente, se contextualiza la técnica BTC dentro de las otras construcciones con tierra cruda.

En el conjunto de la historia y del mundo, la tierra ha sido el material de construcción predominante. En 1994, un tercio de la humanidad vivía en viviendas de tierra, y en países en vía de desarrollo era más de la mitad de la población. Los requerimientos de habitar que necesitan estos países no se podrían resolver con materiales industrializados como el ladrillo, el hormigón y el acero ya que no existe en el mundo las capacidades productivas y financieras para satisfacer esta demanda. La necesidad de habitar de estos países se debe afrontar utilizando materiales locales y técnicas de autoconstrucción. [5]

ARCHITECTURE DE TERRE DANS LE MONDE



Figura 9- Construcciones con tierra en el mundo. Fuente: CRATerre.org

Crecientemente las personas demandan edificaciones eficientes económica y energéticamente, dando mayor valor a la salud y al clima balanceado. Se ha comprendido que la tierra tiene mejores cualidades que los materiales industriales como el hormigón, los ladrillos y los sílico-calcareos. Esta nueva necesidad más la mejora de las técnicas de construcción con tierra demuestran el valor que tiene este material no solo para la autoconstrucción sino también para la construcción industrializada. [5]

Desde 1960 se puede observar en África un gran desarrollo e implementación del BTC. Casi cada país africano presenta ejemplos de construcciones de BTC: casas sociales, apartamentos de lujo o edificios gubernamentales entre otros. [19]

### 3.1.1 Tecnologías de construcción con tierra

Existen 12 métodos de construcción con tierra [20]. Ocho de ellos son actualmente usados y constituyen las técnicas más importantes: [19] [21]

- Adobe: la tierra, en un estado maleable, a menudo mejorado mediante la adición de paja u otras fibras, se moldea en forma de ladrillo y se seca al sol (11,12 i 13)\*
- Tierra apisonada: la tierra se vierte masivamente en encofrados, compactada por medio de un apisonador, capa por capa, y encofrado por encofrado (5)\*
- Arcilla-paja: se vierte agua en la arcilla y se mezcla con paja. El material de construcción obtenido conserva el aspecto de la paja. Se coloca por medio de un encofrado para erigir una pared monolítica. (16)\*
- Zarzo y barro: se mezcla el barro con fibras vegetales y se sitúa encima del zarzo hecho con finas maderas (14, 15)\*
- Tierra conformada: se da forma a la tierra con las manos con la misma técnica que se usa para hacer cerámica (4)\*
- Tierra extruida: la tierra es moldeada y extruida por una máquina similar a la que hace ladrillos (10)\*
- Cob: se añaden fibras vegetales a la mezcla de tierra y se realizan bolas que se apilan unas sobre otras, moldeando la pared con la mano u otras herramientas (3)
- Tierra comprimida: la tierra se comprime, en forma de bloque, en un molde. La tierra se puede comprimir en el molde con la mano, pilones o una tapa pesada o con diversas prensas. (6,7)\*

\*en la figura 10 se puede encontrar el tipo de construcción señalado

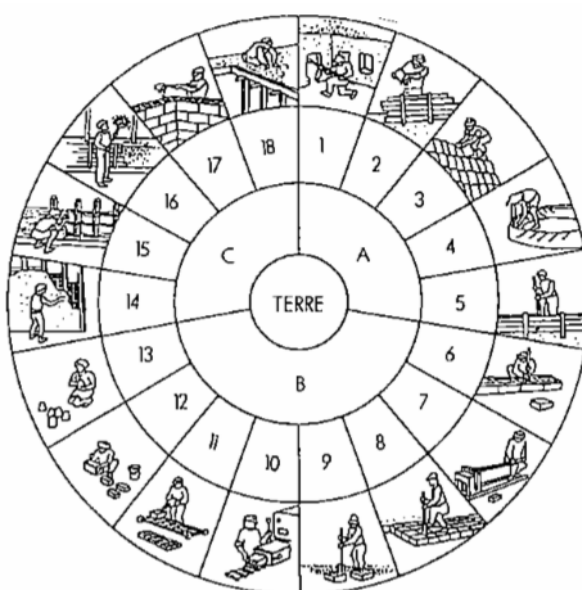


Figura 10- Tipos de construcción con tierra [21]

## 3.2 Definición del BTC

Según la UNE 41410, el Bloque de Tierra Comprimida se define como *“pieza de fábrica de albañilería generalmente con forma de paralelepípedo rectangular, obtenida por compresión estática o dinámica de tierra húmeda, seguida de un desmolde inmediato, y que puede contener estabilizantes o aditivos para alcanzar o desarrollar las características particulares de los productos.”* [18]

### 3.2.1 Historia del BTC

La tecnología del BTC es una evolución moderna del bloque de tierra moldeado, más comúnmente llamado adobe. La idea de compactar la tierra para mejorar la calidad y resistencia de los bloques de tierra es antigua. Para ello, los primeros bloques se hacían con la ayuda de morteros de madera, método que se sigue usando. No es hasta 1952 cuando Raúl Ramírez inventa la prensa “CINVA-RAM” en el Centro Iberoamericano de la Vivienda (CINVA), en Colombia. Los años 70 y 80 trajeron la aparición una nueva generación de prensas manuales, mecánicas y motorizadas desarrollando un mercado real para la producción y el uso del BTC como el que tenemos actualmente. [22]

EL BTC constituye una mejora considerable de las técnicas de construcción con tierra ya que con un buen control de calidad del producto puede competir con otros materiales como los bloques cemento-suelo o los ladrillos cocidos. [22]

## 3.3 Materiales componentes del BTC

En este apartado se describe las propiedades y la importancia de los componentes que se usan para la fabricación de los BTC.

### 3.3.1 Tierra

Se trata del principal componente del BTC. La tierra es una mezcla de arcilla, limo y arena que puede contener partículas mayores como grava y piedras, también llamados áridos. Las gravas y arenas son estables, mientras que limos y arcillas son inestables. Se define la estabilidad como la capacidad de soportar humedad y sequedad alternas sin que sus propiedades cambien. [23] La estabilidad de un material es de fundamental importancia en la construcción.

Se clasifican según su diámetro [5] [23]:

- Gravas: formadas por piezas cuyo tamaño varía entre 2 y 20 mm. Aportan consistencia y estabilidad al suelo. Sus propiedades mecánicas no experimentan cambios en presencia de agua.



- Arenas: formadas por partículas minerales cuyo tamaño varía entre 0,06 y 2 mm. También son constituyentes estables del suelo. Tienen un grado muy alto de fricción interna. Carecen de cohesión cuando están secos, sin embargo, al humedecerlos, muestran una cohesión aparente resultado de la tensión superficial del agua que ocupa el espacio entre las partículas.
- Limos: sus partículas tienen un tamaño entre 0,002 y 0,06 mm. Como su resistencia al movimiento es generalmente más baja que la de las arenas, muestra cohesión cuando están mojadas. También con la humedad cambian perceptiblemente el volumen.
- Arcillas: están formadas por partículas menos de 0,002 mm. Sus características son completamente distintas a las de las otras partículas por lo que se mencionaran en un capítulo aparte.

La tierra es un material fácilmente extraíble. De todos modos no todos los suelos son igual de aptos para la construcción con tierra. Cuando se extraiga la tierra se debe desechar la capa superficial que contiene elementos orgánicos (producto de la descomposición de las plantas). A partir de 30-40 cm de profundidad suele ser tierra apta. [5] [24]

### 3.3.2 Arcilla

La arcilla es producto de la erosión del feldespato y otros minerales. El feldespato contiene oxido de aluminio, oxido metálicos y bióxido de silicio. Si durante la erosión, los componentes del potasio se disuelven, se forma una arcilla denominada caolinita y tiene la forma  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Otro mineral arcilloso común es la montmorilonita con la fórmula  $\text{Al}_2\text{O}_2 \cdot 4\text{SiO}_2$ . Adicionalmente existe una amplia variedad de minerales arcillosos menos comunes como la illita. [5]

Las arcillas son muy sensibles al cambio de humedad. Se sienten muy atraídas por el agua, y a medida que aumenta la humedad, también aumenta la película de agua adsorbida que tienen las partículas y aumenta el volumen de la masa. La película de agua absorbida que se adhiere fuertemente a las capas de arcilla, une las partículas del suelo entre ellas, y es esto lo que le da a la arcilla su cohesión y la mayor parte de resistencia mecánica. Contrariamente, durante la contracción que se produce en el secado pueden aparecer grietas en la masa de arcilla, reduciendo su resistencia. Todo lo dicho anteriormente tiene sentido cuando se aplica una humedad por debajo del límite líquido en que la arcilla presenta cohesión. Una arcilla sobrehidratada no presenta ningún tipo de cohesión. [23]

### 3.3.3 Estabilizantes y aditivos

Como sugiere la palabra, un estabilizante ayuda la mezcla del BTC a tener más estabilidad, presentando una buena resistencia y poca sensibilidad a la presencia de agua. En el caso de utilizar uno a más estabilizantes, el contenido total de estos debe ser menor o igual al 15% de la masa en seco del BTC. [18]

Encontramos diferentes tipos de estabilización según la acción que ejerzan sobre la tierra: [18]

- Química: se produce cuando el aditivo añadido modifica la estructura granular que dota de mayor cohesión o disminuye una excesiva plasticidad. Ejemplos: aceites naturales, silicatos de sosa y orina, cal viva o apagada, resinas acrílicas, etilsilicatos, yema de huevo, productos puzolánicos, cementos, yesos o resinas.
- Física: el estabilizante mejora las propiedades físicas de la tierra. Ejemplos: estabilización granulométrica mediante la combinación de distintos suelos o estabilización con fibras creando un armazón interno
- Mecánica: se realiza una acción que aumente la compacidad del material. Esta puede ser: estática, dinámica o mixta. La eficacia de este sistema depende de la granulometría, el grado de compactación y de la humedad de la mezcla. Normalmente la estabilización mecánica se consigue por compactación de suelo.

### 3.3.3.1 Cal

El material constructivo que se conoce como cal, es el producto de un proceso de calcinado, rehidratación y secado de rocas de origen calizo. Este proceso al que se somete el carbonato cálcico se llama “ciclo de la cal”. [25]

El ciclo de la cal tiene cuatro fases: [26]

- Calcinación: Se calcina la piedra caliza de carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) a  $900^\circ\text{C}$  obteniendo cal viva en fragmentos irregulares
- Apagado: cuando se hidrata, reacciona exotérmicamente. Si se añade poca agua se obtiene hidrato en polvo pero si se añade agua abundante se obtiene una pasta de cal que se debe conservar en balsas un mínimo de seis meses para que cristalice. De esta manera se obtiene cal apagada o hidratada.
- Mezclado: se debe añadir áridos + agua hasta obtener una mezcla
- Carbonatación: La mezcla va carbonatando con el  $\text{CO}_2$  de la atmosfera desde la superficie hasta dentro

De esta manera, como estabilizante se puede usar cal viva o apagada como indica la UNE 41410. [18]

### 3.3.4 Agua

El agua es el agente que activa las fuerzas aglutinantes del barro. Permite que se generen las reacciones químicas de los estabilizantes y hace que la tierra gane plasticidad. Por lo tanto, es el componente que activa las propiedades de los otros materiales para poder construir con tierra.

La humedad óptima del bloque de tierra es la que consiga una mayor densidad del bloque [24]. La cantidad de agua vertida debe garantizar una buena plasticidad de la mezcla. Se debe evitar mezclas demasiado fluidas, provocando una disminución de la resistencia o mezclas muy secas que dejen bloque disgregado debido a una falta de cohesión entre partículas.

Durante el curado y secado de los bloques, el agua ira reaccionando con la mezcla en el interior del bloque. Cuando el BTC esté perfectamente seco, sus componentes habrán producido la máxima resistencia en cuanto a las posibilidades de esta combinación.

## 3.4 Características de los BTC

### 3.4.1 Dimensiones

La forma de los bloques de tierra comprimidos varía según el tipo de prensa y molde que se utilizan. Para construcciones de mampostería, los bloques sólidos son los más comúnmente utilizados. [23]

La producción de bloques de tierra comprimida ha utilizado típicamente dimensiones de bloques sólidos con un peso unitario del orden de 6 a 8 kg y con la posibilidad de construir paredes de 15, 30 o 45 cm de espesor. Las dimensiones de trabajo más comunes en uso hoy en día son 29.5 x 14 x 9 cm (l x w x h), lo que proporciona un material que es muy fácil de manejar y muy flexible en su uso para muchas configuraciones de sistemas de construcción de paredes y techos (suelos de arcos, bóvedas y cúpulas) y de aberturas arqueadas. [23]

En la figura 11 se pueden observar distintas formas de BTC con sus intenciones de uso.


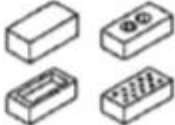

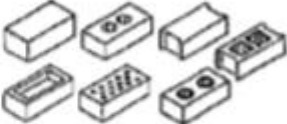

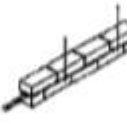
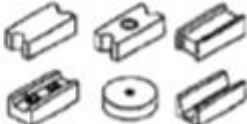




6 MAIN USE OF CEBS		
INTENDED USE		BLOCKS REQUIRED
normal load-bearing masonry		
infill masonry		
special applications	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ventilation</li> <li>• cables duct</li> <li>• chamfers</li> <li>• decoration</li> <li>• masonry vaults and arches</li> </ul>	
reinforced masonry		
special building system: juxtaposed bonding		
special building system: dry stacking interlocking bonding		

Figura 11- Tipos de BTC i posibles usos en la construcción [23]

### 3.4.2 Propiedades físicas de la tierra

La granulometría del árido de la tierra es importante e influyente en las características de los bloques. La combinación óptima varía según las fuentes. V. Rigassi determina unos contenidos que varían entre 8-30% de arcilla, 10-25% de limos, 25-80% arenas y 0-40% de grava. [8] La UNE 41410 recomienda que la granulometría del material utilizado se encuentre inscrita en el huso del diagrama de textura de la figura 12. [18]

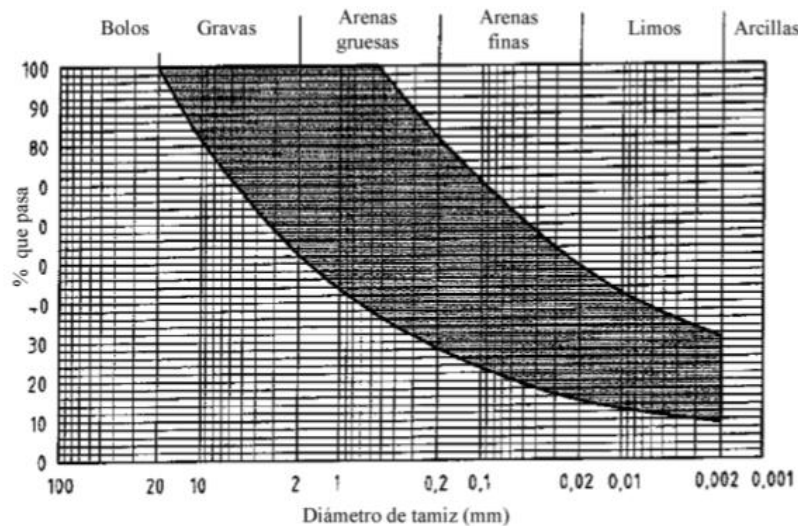


Figura 12-Huso del diagrama de texturas de las tierras [18]

Otra propiedad importante del suelo es la plasticidad. La mezcla debe ser moldeable en presencia de agua para poder tener una buena manejabilidad. La plasticidad depende básicamente de la cantidad de arcilla que contenga el suelo. El índice de plasticidad debería comprenderse entre 2-31 y el límite líquido entre 25-51 [20]. Según la UNE 41410, se recomienda que la plasticidad del material esté comprendida preferentemente en la zona sombreada de la figura 13.

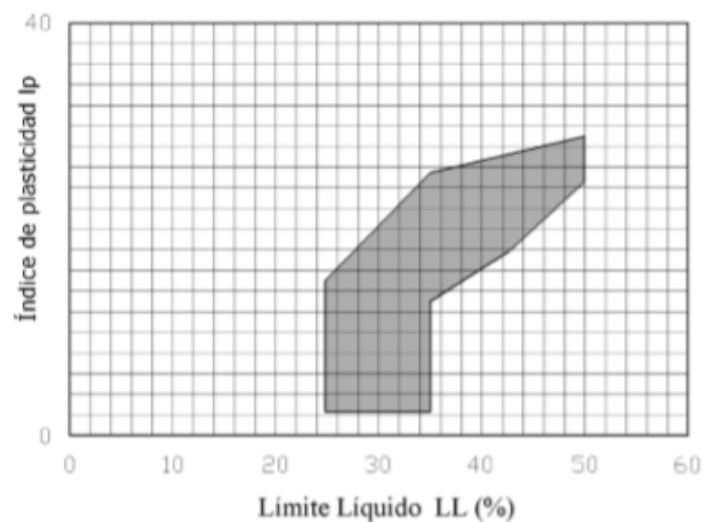


Figura 13- Zona recomendada del diagrama de plasticidad de las tierras [18]

También debemos tener en cuenta la compresibilidad del suelo. Esta define su capacidad máxima para ser comprimido para una cantidad dada de energía de compactación y con una humedad óptima (Optimum Moisture Content, OMC). Cuanto más se pueda comprimir un suelo, menor porosidad tendrá y será más difícil que entre agua. La compresibilidad del suelo se mide mediante un test con "Proctor". En la figura 14 se muestra un diagrama de compresibilidad que

muestra la relación entre el OMC y la densidad óptima, para una cantidad dada de energía de compactación. [23]

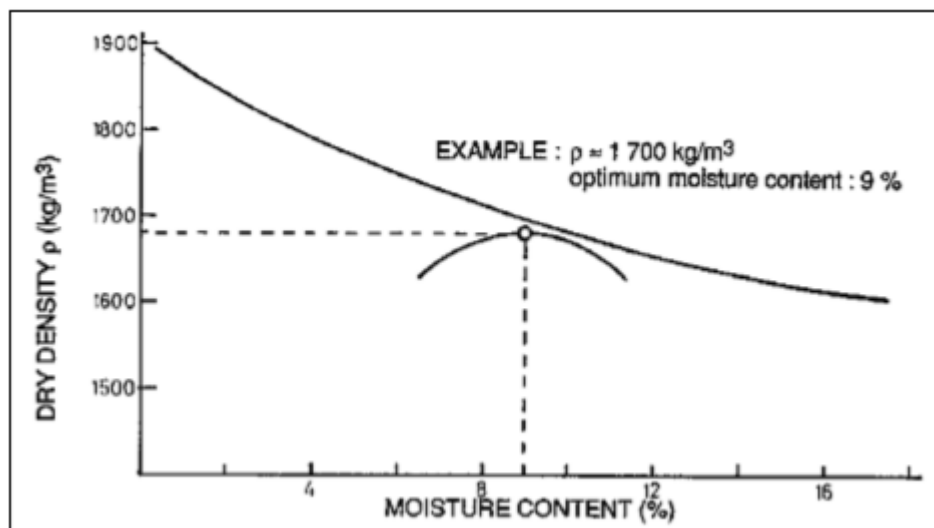


Figura 14- Diagrama de compresibilidad [23]

### 3.5 Proceso de fabricación y curado

La producción de bloques de tierra comprimida puede considerarse similar a la de los bloques de tierra cocidos, exceptuando evidentemente, la fase de cocción. El proceso de fabricación depende del marco sobre el que se realice: producción artesanal a menor escala o producciones industrializadas. La producción, el secado y almacenamiento de bloques también dependerán de factores climáticos, sociales, técnicos y económicos. [23]

No existe un período o estación particularmente favorable o desfavorable para la producción de BTC si se aplican pequeñas medidas para proteger las zonas de secado y de producción en caso de lluvias o excesiva sequedad. [23]

Es importante tener en cuenta una serie de consideraciones antes de lanzarse a la producción de BTC: [23]

- Las propiedades del suelo local y su idoneidad para la construcción de BTC.
- Cantidad, tipo y coste de estabilizante requerido
- Los estándares constructivos del lugar y por consiguiente la calidad de los bloques
- La capacidad de carga según la edificación que se quieran levantar

La producción de BTC se puede resumir en tres etapas: La preparación del terreno, la compresión y el secado/curado. [21] A continuación se describe el proceso de forma más detallada [23]:

- Extracción de la tierra de una cantera o del propio terreno

- Secado mediante esparcimiento de la tierra en capas finas o por ciclones de aire caliente
- Molienda para romper los terrones de arcilla
- Tamizado para eliminar todos los elementos no deseados que queden tras la preparación vegetal
- Dosificación en seco de las cantidades de tierra necesarias, bien por peso o por volumen, en función de las proporciones de agua y de aditivos que se vayan añadir.
- Mezcla seca para asegurar la máxima eficacia del estabilizante en polvo
- Mezcla húmeda, una vez añadida el agua por aspersión, y que la masa esté bien mezclada
- Medición de la cantidad de masa necesaria para conseguir que el bloque tenga la densidad óptima necesaria
- Prensado del compuesto
- Desmolde del bloque
- Curado húmedo, de duración variable según el clima y el tipo de estabilizante utilizado
- Secado, que permitirá alcanzar la calidad y propiedades deseadas
- Almacenaje de los productos que ya están listos para su utilización

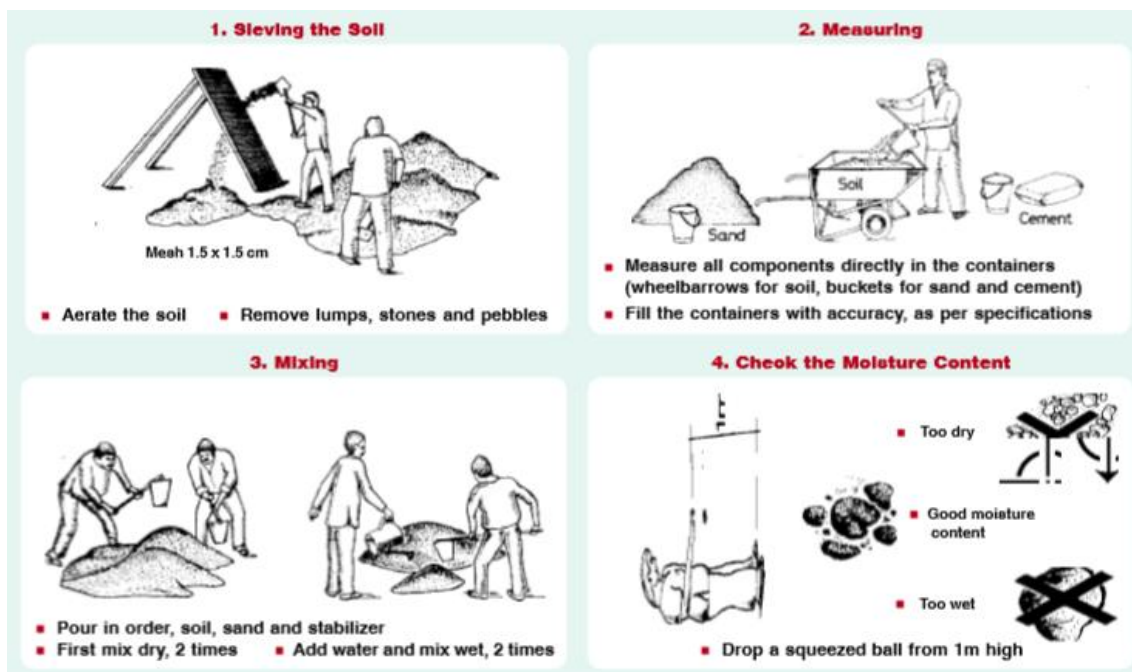


Figura 15- Proceso de fabricación y curado según la UNCHS (parte 1) [27]

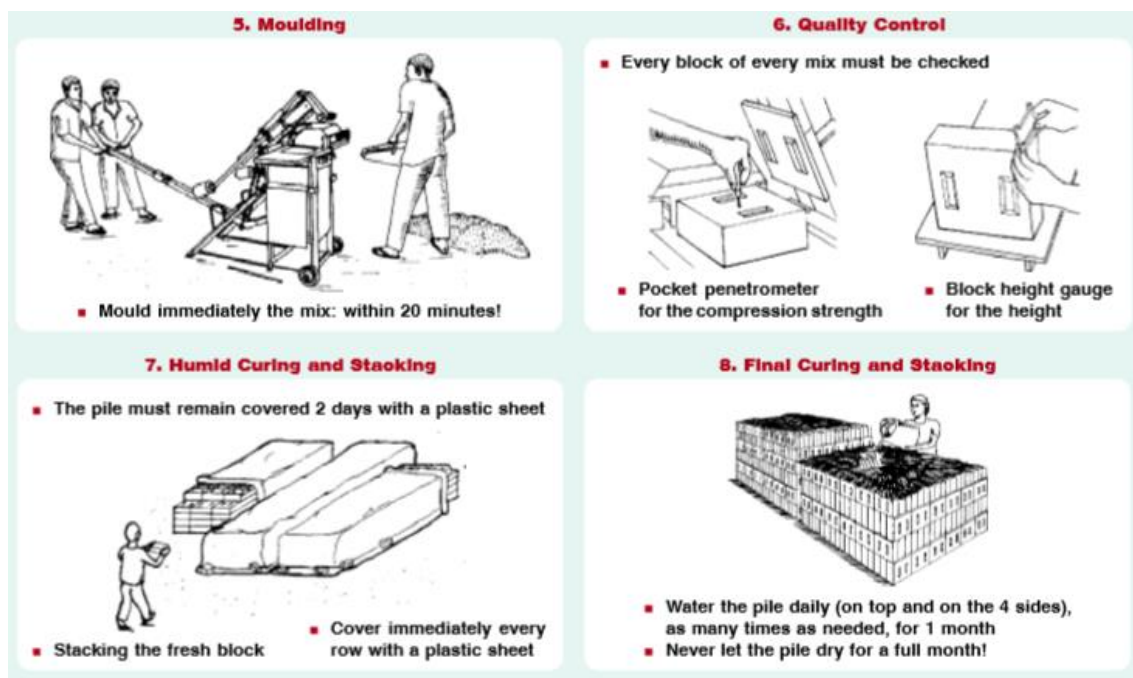


Figura 16- Proceso de fabricación y curado según la UNCHS (parte 2) [27]

Cómo la producción tiene tantas etapas se trata de un trabajo en equipo siendo necesaria una buena coordinación y supervisión. Con una prensa manual se pueden hacer entre 300 y 600 bloques al día. Para el prensado y almacenamiento se necesitan 3 obreros y para la preparación de la tierra se necesitan de 2 a 4. Si la prensa es motorizada se necesitan los mismos obreros pero la producción aumenta a 2000 bloques al día. [21]

El tiempo de curado varía en función de las condiciones climáticas locales y del estabilizante empleado. Por ejemplo, para un bloque estabilizado con cemento, se recomienda un tiempo de curado de cuatro semanas. [21] Los bloques estabilizados con cemento deben mantenerse en un ambiente húmedo durante al menos 7 días. No se debe permitir que la superficie de los bloques se seque demasiado rápido, ya que esto causa grietas por retracción. Los bloques deben estar protegidos del sol y el viento directos y mantenerse en condiciones de humedad relativa que se aproximen al 100% cubriéndolos con láminas de plástico impermeables. Después de 28 días no habrá más aumento significativo en la resistencia del cemento. Las altas temperaturas durante el curado aumentarán la resistencia obtenida y la temperatura puede elevarse utilizando láminas de plástico negro. Ejemplos: Los bloques curados durante 7 días a 40 ° C serán 1.5 a 2 veces más fuertes que los bloques curados durante 7 días a 20 ° C. [23]



## 4. FASE EXPERIMENTAL

---

La fase experimental se realizó en dos lugares distintos. Por un lado, se caracterizaron los materiales en el laboratorio de la facultad ETSCCPB (Barcelona). Se hizo en Barcelona porque los recursos tecnológicos son más precisos y porque se podían hacer con una pequeña cantidad de material. Por otro lado, los ensayos de evaluación de las propiedades mecánicas y de durabilidad, se realizaron en Senegal. Aunque los recursos tecnológicos en la zona son limitados, la inviabilidad de transportar todos los bloques/probetas a Barcelona, se decidió realizar los ensayos allí en el terreno.

Aunque el caso real, donde estuve trabajando y que se mencionará más adelante, se realizó en Mlomp, se decidió hacer la fase experimental en la obra de Foundawtion que estaban creando una escuela en Thionck Essyl. La capacidad de despliegues y de recursos tecnológicos y humanos era mayor que en la obra en la que yo trabajé. Y como los materiales y el proceso de producción de bloques eran los mismos en ambos sitios se creyó oportuno realizar la producción de los bloques-probetas y de los ensayos en la obra de Foundawtion.



Figura 17- Aulas construidas en el que será el nuevo instituto de Daga-Kamanar, Thionck Essyl. Fuente: propia

En esta fase se proponen cuatro dosificaciones distintas a la mezcla de control. Se realizan bloques de cada dosificación. Posteriormente a su fabricación y curado, se realizan diferentes ensayos para medir la resistencia mecánica y la durabilidad de cada mezcla. El objetivo es encontrar una dosificación alternativa, más económica y sostenible que la mezcla de control, que ofrezca propiedades competentes para la construcción.

## 4.1 Caracterización de los materiales

### 4.1.1 Caracterización de los suelos

Para realizar las dosificaciones se usan dos tipos de suelo distintos autóctonos de la región.

#### 4.1.1.1 *Sable Rouge (arcilla)*

Por un lado se usa la “*Sable Rouge*”, SR (arena rojiza en francés). Este, es un suelo de color rojizo que se encuentra muy fácilmente en la zona, es el más predominante. El gran interés de este suelo es que contiene arcilla en un 18%. La arcilla hace de ligante ya que es un material cohesivo. Al mojarse- comprimirse- secarse, se crean fuerzas de atracción entre las partículas de arcilla que dan resistencia al bloque. Se puede obtener de cantera (lo cual es más caro), o se puede obtener del propio terreno de la construcción. En la figura 17 se observa su espectro electromagnético obtenido con la difracción de rayos X y en la tabla 9 se observa su composición.

Tabla 9- Composición del suelo “Sable Rouge”

COMPOSICIÓN SABLE ROUGE (% en volumen)						
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	CaO	LOI
86,27%	7,25%	1,35%	0,654%	0,117%	0,108%	3,9%

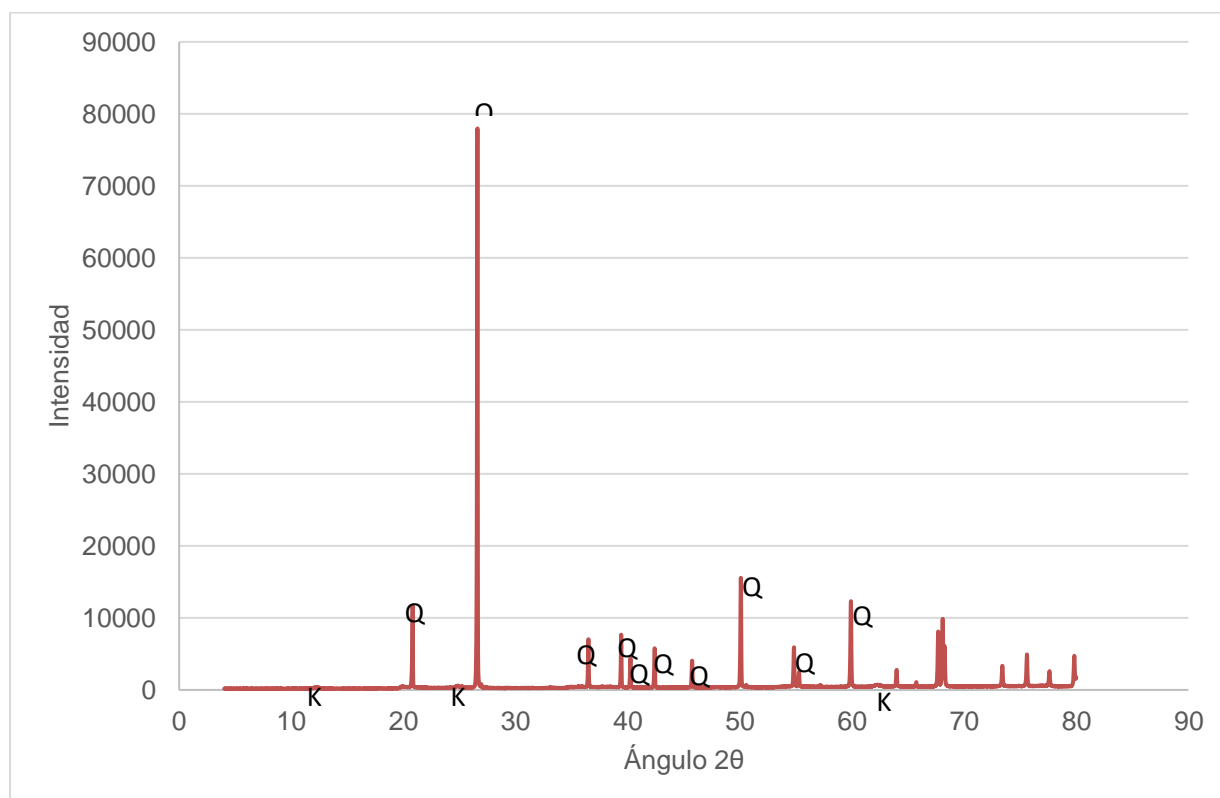


Figura 18- Espectro electromagnético de la “sable rouge”

#### 4.1.1.2 *Sable Blanche*

Por otro lado se usa la “*Sable Blanche*”, SB (arena blanca en francés). Este, es un tipo de suelo fino de color blanco. Es de granulometría fina y no suele tener ni arcilla, ni grava; además es un material no cohesivo. La principal función de mezclar esta arena con la otra es la de crear una estructura granulométrica más progresiva y sólida. Además, gracias a su bajo precio reduce el coste total del bloque.



Figura 19- Suelo “sable blanche” a la izquierda y suelo “sable rouge” a la derecha. Fuente: propia

#### 4.1.1.3 *Propiedades físicas*

##### 4.1.1.3.1 *Granulometría*

En la figura 20 se presenta la granulometría de los dos tipos de suelos. Se observa el diámetro de los tamices y el porcentaje de suelo que pasan por ellos, dando con detalle el tamaño máximo y mínimo de partícula que hay en cada suelo.

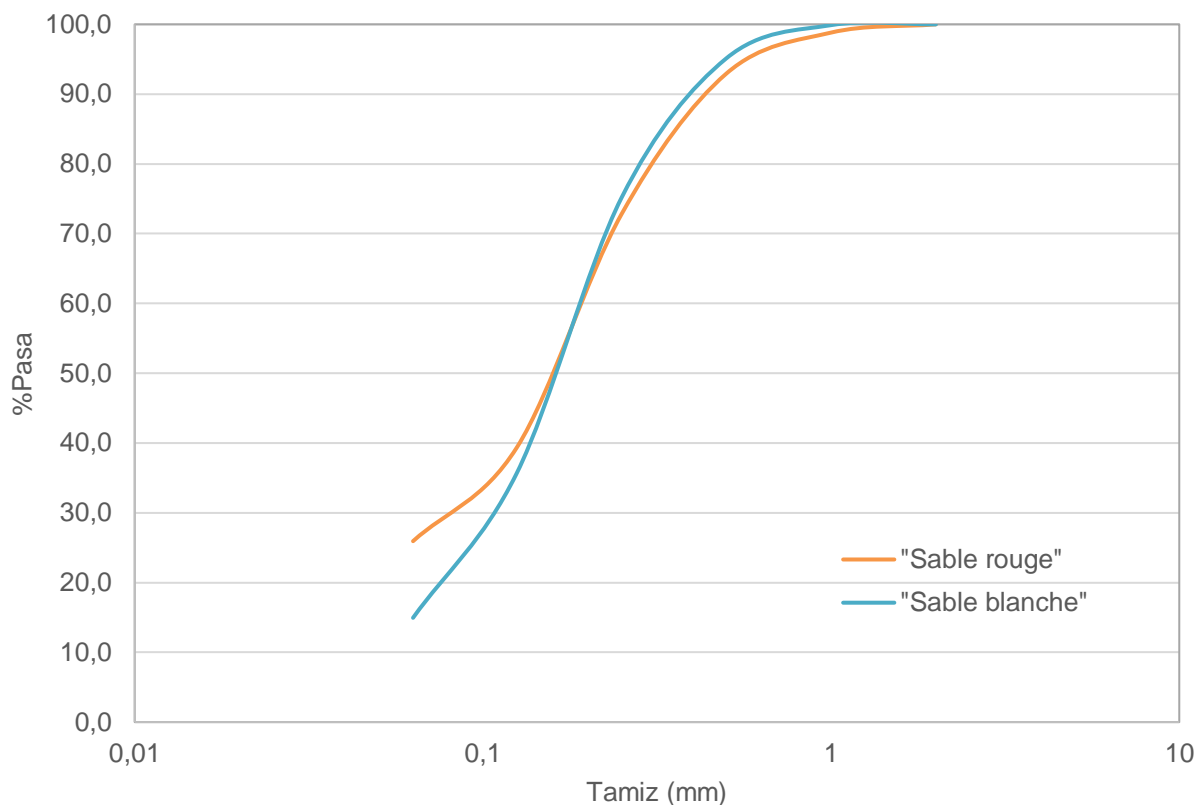


Figura 20- Granulometría de los dos tipos de suelos

La granulometría obtenida de los dos suelos se comprende en el huso que propone la UNE41410 para tierras adecuadas para hacer BTC. [18] La “sable rouge” contiene partículas más gruesas que la otra arena. De todas formas, en ambos casos se trata de arenas con más partículas finas que gruesas.

#### 4.1.1.3.2 Densidades

Las densidades se han determinado mediante el volumenómetro de Le Chatelier como especifica la UNE 80-103-96 [28] en Barcelona.

Equipo:

- Balanza capaz de apreciar 0,01g
- Baño termostático de agua
- Volumenómetro de Le Chatelier
- Queroseno

Procedimiento:

- Se rellena el volumenómetro con queroseno entre las marcas de 0 y 1 cm<sup>3</sup> (se anota la medida exacta), y se baña en agua en una temperatura de 20°C durante 30 min.
- Pasado este tiempo, se seca el recipiente y se pesa.

- Se pesa la cantidad de suelo (alrededor de 60g) que se vaya a echar, se introduce con un embudo en el volumenómetro y se deja bañar a 20°C 30 minutos más.
- Se seca de nuevo el recipiente y se vuelve a pesar. También se observa que altura marca el queroseno en el volumenómetro.
- La densidad final es el resultado de la división entre diferencia de peso y diferencia de volumen

Resultados:

Tabla 10- Densidades de las arenas “sable rouge” y “sable blanche

Material	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
“sable rouge”	2,62
“sable blanche”	2,64

### 4.1.2 Caracterización del cemento

El cemento que se usa utilizado está fabricado en Dakar, Senegal. Se trata de un cemento portland mixto de gama baja de Clinker tipo CEM II /B-LL de resistencia media 32,5 MPa a 28 días con resistencia inicial elevada R. Por su composición y clase resistente se puede emplear en hormigones armados o en masa, cuando los requisitos mecánicos o de puesta de carga no son muy exigentes. Y también puede ser utilizado para estabilización de suelos y suelo-cemento así como en la elaboración de morteros y hormigones para la albañilería en general.



Figura 21- Cemento utilizado. Fuente: propia



## CARACTERÍSTICAS

	Características del cemento	Norma	Habitual
<b>Componentes*</b>	Clinker (%)	65-79	75
	Caliza (L) (%)	21-35	25
	Regulador de fraguado. "yeso" (%)	-	4
<b>Químicas</b>	Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ) (%)	3,5 máx.	2,8
	Cloruros (Cl) (%)	0,10 máx.	0,01
	Perdida por calcinación (%)	-	-
	Residuo insoluble (%)	-	-
<b>Físicas</b>	Expansión Le Chatelier (mm)	10 máx.	0
	Tiempo de inicio de fraguado (minutos)	75 mín.	175
	Tiempo de final de fraguado (minutos)	-	225
	Superficie específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	-	4.000
<b>Mecánicas</b>	Compresión a 1 día (MPa)	-	14
	Compresión a 2 días (MPa)	16 mín.	20
	Compresión a 7 días (MPa)	-	33
	Compresión a 28 días (MPa)	32,5-52,5	43

Figura 22- Características del CEM II/B-L 32,5 R [29]

Este cemento tiene dos propiedades muy características:

- Aporta una gran plasticidad lo que hace excelente para morteros.
- Conlleva un menor riesgo de aparición de fisuras, al contener menor cantidad de Clinker y desprender menos calor de hidratación.

Con este tipo de cemento se recomienda tener precaución en la puesta en obra. Se debe cuidar el amasado y el curado, especialmente en climas secos a elevadas temperaturas, con el fin de evitar la desecación rápida causante de la retracción.

### 4.1.3 Caracterización de la cal

La región dónde se realiza el estudio es zona de pueblos pescadores. Todos estos se encuentran cerca de marismas las cuáles utilizan los navegantes para adentrarse al mar. Así mismo, algunas de las mujeres de la zona aprovechan las marismas para su negocio. Estas mujeres son recolectoras de ostras. Después de recogerlas con pequeñas embarcaciones, las abren y las cocinan en la misma orilla de las marismas. Esta práctica, acaba generando un gran número de residuos en forma de caparazones de ostras. Como podemos observar en la ilustración 18 se generan unas grandes montañas de ostras que nadie usa.

Antiguamente, los antecesores de esa región usaban esas ostras para la construcción. El motivo es que de esas ostras extraían cal.



Figura 23- Montañas de conchas de ostra que se pueden encontrar en las laderas de los ríos. Fuente: propia

En la tabla 10 se observa su composición y en la figura 23 se muestra su espectro electromagnético obtenido con la difracción de rayos X.

Tabla 11- Composición de la Cal extraída de las conchas

COMPOSICIÓN CAL (% en volumen)									
CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	LOI
45,05	15,76	0,842	0,391	0,257	0,222	0,147	0,133	0,0915	36,79

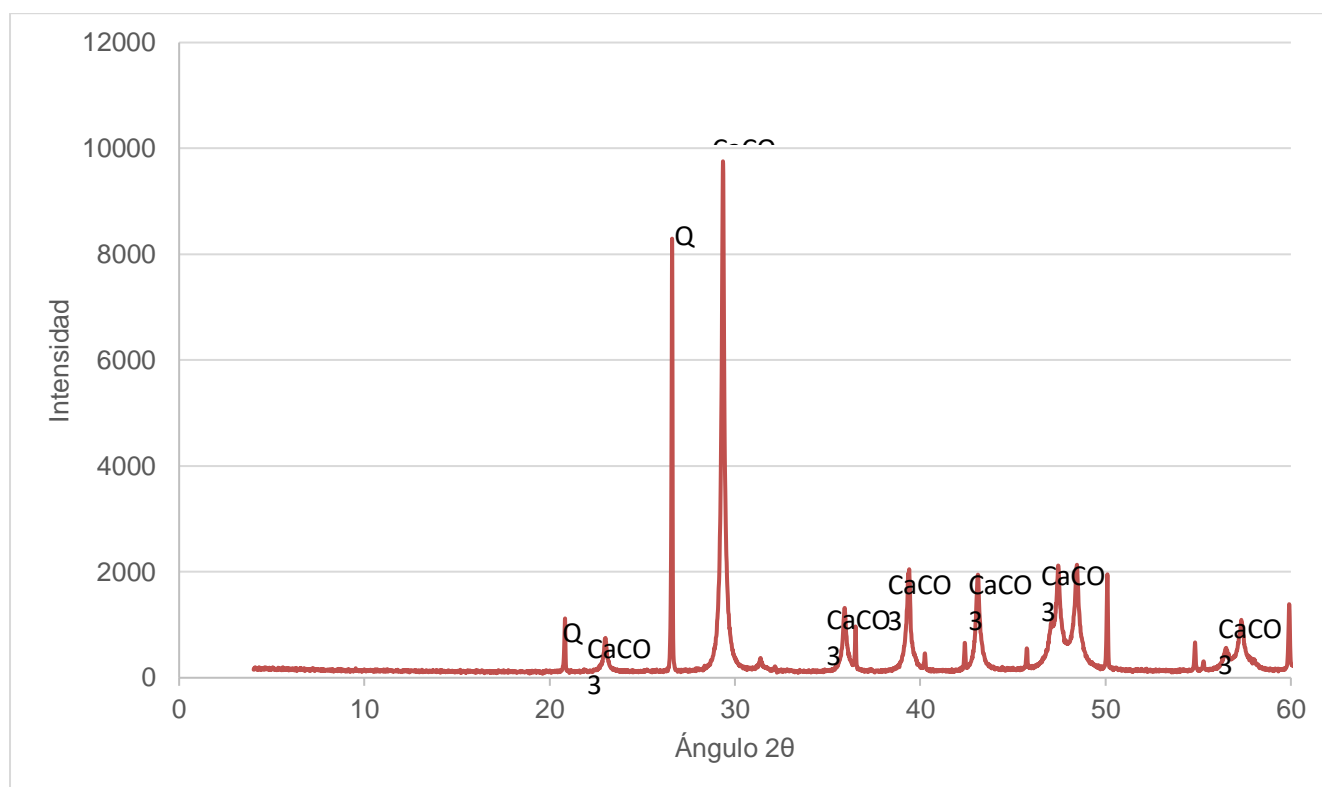


Figura 24- Espectro electromagnético de la cal

#### 4.1.3.1 *Proceso de producción de cal*

El procedimiento para obtener cal es el siguiente:

- Se recoge madera y se sitúa entre las ostras para crear una hoguera
- Se prende la madera durante un día entero asegurando la calcinación de la ostra
- Se recogen las ostras y se pican con ayuda de pilones
- Se tamiza el sedimento restante y se guarda en sacos

Esta práctica cada vez es menos usada. Sin embargo, aún existen algunas personas (suelen ser de edad avanzada) que sí han trabajado con estas ostras y saben cómo manipularlas. Desgraciadamente, este es un negocio que cada vez es menos rentable. La aparición del cemento en su sociedad fue, y sigue siendo, un impacto tan grande que ahora solo contemplan construcciones con este. El paso de los años ha incrementado la infravaloración de la cal en las construcciones igualmente al resto del mundo.



Figura 25- Picado de las ostras quemadas y tamizado de la cal. Fuente: propia

#### 4.1.3.2 *Propiedades físicas*

La cal obtenida tiene un tamaño de partículas muy fino, teniendo todas sus partículas un diámetro menor a 0,063 mm.

La densidad de la cal se calcula con el ensayo de Le Chatelier, enunciado previamente en el capítulo 4.1.1.3.2. Y el resultado se expone en la tabla



**Tabla 12- Densidad de la cal**

Material	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
cal	2,53

Como resulta esta densidad después del ensayo, se concluye que el compuesto analizado no es cal ya que esta suele tener un densidad aproximada entre 1,1 y 1,8 g/cm<sup>3</sup>. De esta manera, se acerca más al carbonato cálcico que tiene una densidad de 2,7 g/cm<sup>3</sup>.

## 4.2 Caracterización, fabricación y dosificaciones de los BTC

### 4.2.1 Caracterización de la mezcla de control

En el “Blouf” (unión de comunas en la que se encuentra Mlomp) los materiales disponibles son bastante homogéneos, y por lo tanto, las dosificaciones típicas en la zona varían aproximadamente entre los siguientes rangos según los resultados buscados [30]:

- 5 carretillas SR (“sable rouge”) + 0 carretillas SB (“sable blanche”) + 1 saco de CEM de 50kg
- 8 carretillas SR + 1 carretillas SB + 1 saco de CEM de 50 kg

En este estudio se define como mezcla de control la dosificación utilizada en la obra por los obreros la cual se compone de:

- 6,5 carretillas de SR + 1 carretilla de SB + 1 saco de CEM de 50kg\*

\*Hay que tener en cuenta que la relación carretilla-saco de cemento en volumen es la siguiente: 1 saco de cemento = 3/4 carretilla

Esta dosificación es decidida por los obreros más experimentados de la obra. Hay que tener en cuenta que los conocimientos constructivos que ellos tienen son heredados de sus antecesores y complementados con su propia experiencia. Así entonces, para elegir esta dosificación simplemente observan el color y la textura de las arenas a utilizar. Igualmente, para calcular la humedad óptima de la mezcla, usan la misma metodología. Como garantía de éxito tienen un gran historial de construcciones que llevan años en pie.

En la siguiente tabla se presenta las características de la dosificación de la mezcla de control:

**Tabla 13- Porcentajes de la mezcla de control en seco**

Mezcla de control en seco	Suelo “Sable Rouge”	Suelo “Sable Blanche”	Cemento
(% en volumen)	79%	12%	9 %

## 4.2.2 Descripción del proceso de fabricación y de curado

Durante la totalidad del estudio los encargados de realizar ambos procesos han sido los obreros encargados de realizar BTC en la obra. Es importante que hayan sido ellos quienes hayan manipulado y utilizado materiales y maquinaria. Dada su experiencia les es más fácil repetir los mismos procesos de manera homogénea y exacta. Así entonces, mi papel residía en supervisar técnicamente que las dosificaciones fueran las exactas y la manipulación de los bloques fuera la adecuada tanto en la fabricación como en el curado de estos.

### 4.2.2.1 *Proceso de fabricación*

El proceso de fabricación que se realiza está basado en las recomendaciones que hace la UNCHS (United Nations Centre for Human Settlements). [27] Hay ciertos matices que dependen de la zona, el clima o los materiales que se utilizan.

Primeramente, se cargan 6,5 carretillas con SR, previamente tamizada, y se vierten en un terreno plano y limpio de restos orgánicos creando un montículo. Seguidamente se descarga una carretilla de SB, también tamizada previamente, encima y por último se vierte un saco de cemento de 50 kg. Con la ayuda de palas se mezclan las arenas y cemento hasta que se obtiene un color homogéneo. A continuación, mientras un obrero añade el agua con la ayuda de una regadera los otros mezclan con palas hasta tener una pasta homogénea.



Figura 26- Proceso de fabricación de BTC, mezcla de suelos y estabilizantes + riego con agua. Fuente: propia

Llegados a este punto es cuando empezamos a usar la máquina de BTC. Esta máquina tiene dos barras metálicas en la base que han sido enterradas previamente con hormigón. De esta manera, y dejándola nivelada, podemos garantizar la rigidez de la máquina para que el prensado sea lo más uniforme posible en todos los bloques.

En este momento, para tener una producción eficiente se necesitan 4 obreros. Dos de ellos vierten la mezcla en el dispensador hasta llenarlo. A su vez, estos dos, vigilan que la humedad de la mezcla siga siendo la correcta, sino, añaden más agua. Hay que tener en cuenta que nos encontramos en un país con condiciones climáticas extremas y, dependiendo de la hora, la mezcla pierde humedad debido a las altas temperaturas. Otro obrero sitúa la tapa encima del dispensador y realiza el prensado del bloque accionando la palanca tres veces. El obrero restante verifica que las dimensiones son las correctas con la ayuda de una plantilla de madera. Seguidamente, recoge el bloque que ha resultado con suma delicadeza y lo sitúa en un terreno plano y limpio. Se sitúan en columnas de cuatro bloques de altura. Todas las columnas se tapan con plásticos impermeables para evitar la evaporación del agua.





Figura 27- Proceso de fabricación de BTC, prensado de la tierra + depositado. Fuente: propia

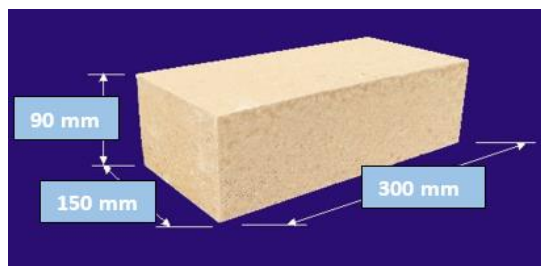


Figura 28- Dimensiones de los BTC resultantes

#### 4.2.2.2 *Proceso de curado*

Una vez fabricados los bloques empieza el tiempo de curado de estos. Los bloques deben ser cubiertos por una capa de plástico durante 10 días para asegurarnos que no se secan antes de hora. A su vez, hay que humedecer los bloques durante los siguientes 21 días después de fabricarlos. Para ello, se riegan con la ayuda de una regadera hasta que su color es más oscuro e intenso. Se riegan mínimo una vez al día; por la mañana. En los días donde hace más calor, se observa si por la tarde los bloques están muy secos. En caso afirmativo se riegan por segunda vez. Una vez terminado el proceso de curación los bloques ya están listos para ser usados.



Figura 29- Proceso de curado de los BTC. Fuente: propia

## 4.2.3 Comprobación de la mezcla de control

### 4.2.3.1 Verificación de la mezcla de suelos in situ

Para comprobar que la dosificación de la mezcla de control es buena para la realización de BTC se realiza el análisis que propone la UNCHS. La misma organización recomienda que el tipo de suelo para la construcción de BTC tiene que ser de carácter arenoso.

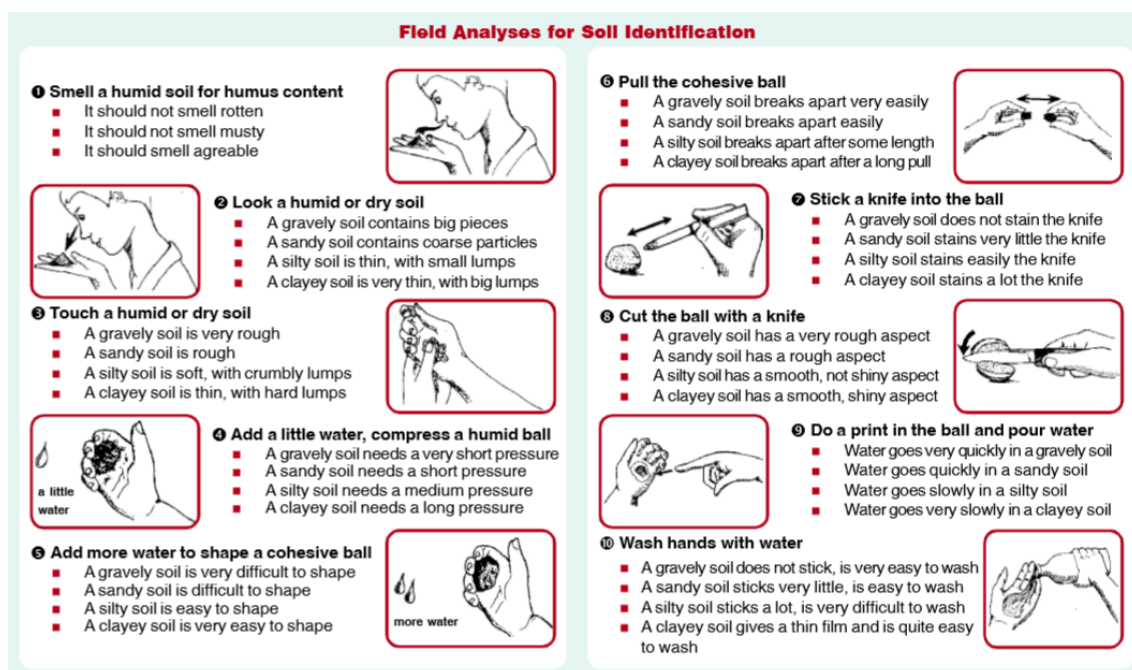


Figura 30- Análisis para la identificación de los suelos [27]

Siguiendo el procedimiento de la ilustración 20 se obtuvo los siguientes resultados:

- 1- El suelo no tiene ningún tipo de olor
- 2- Se observan partículas de arena a simple vista pero son más bien pequeñas



- 3- El tacto de la arena es rugoso
- 4- Se añade un poco de agua y se realiza una pelota con poca compresión
- 5- La pelota resultante es medianamente fácil de realizar
- 6- La pelota se rompe por la mitad con facilidad
- 7- Después de clavar el cuchillo se queda prácticamente limpio
- 8- La pelota cortada por la mitad presenta un aspecto rugoso
- 9- La pelota absorbe el agua con facilidad
- 10- Después de la manipulación es fácil lavarse las manos



Figura 31- Comprobación de la mezcla de control (solo suelos) in situ. Fuente: propia

Por consiguiente, se afirma que el suelo resultante de la mezcla de control es arenoso, y por lo tanto, es un suelo adecuado para la construcción de BTC.

#### 4.2.3.2 Verificación de la humedad óptima (*Optimum Moisture Content*)

En tanto que los obreros calculan la cantidad de agua necesaria para la mezcla guiándose por el color y la textura de esta, se procede a realizar un ensayo en que se verifique que la cantidad de agua usada es la óptima.

Para ello, se realiza el experimento que propone V. Rigassi en el manual de producción de BTC Volumen. [23] El ensayo se realiza con la mezcla de control.

Procedimiento:

- Se realiza una mezcla cercana a la humedad óptima. Rigassi propone poner 7 L de agua para 60 L de mezcla en seco, obteniendo, aproximadamente 10 bloques.
- Como se dispone de poco suelo, se reduce a un tercio proponiendo 3L de agua para 19,5 L de mezcla en seco obteniendo 3 bloques.
- Se realizan los bloques con la ayuda de una prensa y se pesan todos obteniendo un peso medio.
- Se repite el procedimiento pero añadiendo o quitando litros de agua. En este caso se prueba con 2L, 4L y 5L de agua para 19,5L de mezcla.
- Para determinar el porcentaje de humedad de cada mezcla, se coge una pequeña cantidad de mezcla mojada y se pesa, luego se seca al sol y se vuelve a pesar. La humedad se calcula como:  $\frac{\text{peso mojado} - \text{peso seco}}{\text{peso mojado}} \times 100$
- Se propone un curado de 7 días más un secado posterior de 7 días

Hay que tener en cuenta que el cálculo de la humedad óptima dependerá del suelo que tengamos, del clima en que se use y el momento del día en que se realice. La mayoría de suelos no están totalmente secos en condiciones “normales”. [23] Así entonces, no se debe añadir la misma cantidad de agua a primera hora de la mañana que en pleno mediodía ya que, en el último caso, parte de la que se añada se evaporará rápidamente. No obstante, sí que podemos acotar un intervalo de humedad óptima.

Resultados:

Tabla 14- Cálculo de la humedad de cada mezcla

	peso inicial (gr.)	peso final (gr.)	Humedad (%)
1a mezcla	1000	920	8
2a mezcla	1000	900	10
3a mezcla	1000	870	13
4a mezcla	1000	840	16

Tabla 15- Datos en el cálculo de la humedad óptima

	Cantidad de agua (litros)	Peso medio bloques secos (kg)	Humedad (%)
1a mezcla	2	7,32	8
2a mezcla	3	7,47	10
3a mezcla	4	7,58	13
4a mezcla	5	7,37	16

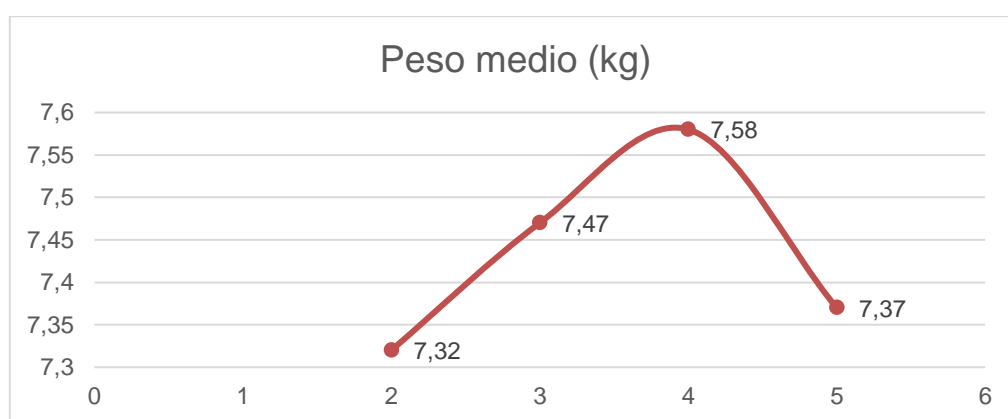


Figura 32- Peso medio de los bloques secos para encontrar la humedad óptima

Como se puede observar el peso medio mayor lo conseguimos cuando añadimos 4L de agua (13% de humedad), y el segundo mayor cuando añadimos 3L (10% de humedad). Esto significa que la humedad óptima se encuentra entre estos dos valores: 10 - 13% de humedad y será más cercano al segundo ya que ha obtenido el peso medio más elevado. De esta manera, se toma un 12% como una cantidad representativa de una humedad óptima en la mezcla de control.

#### 4.2.4 Dosificaciones (mezclas) alternativas

En la siguiente tabla se presentan las diferentes dosificaciones que se toman para los ensayos que se realizarán. Estas dosificaciones nacen como variaciones de la mezcla de control que buscan una mejor sostenibilidad y coste económico. Cada una de ellas presenta distintas variaciones. Como se puede observar todas ellas presentan una disminución del % de cemento y en algunos casos se añade cal como sustituyente. En todos los casos el porcentaje de estabilizante añadido es constante en un 9%, menos en el B que se reduce al 7%.



**Tabla 16- Dosificaciones alternativas propuestas para ensayar**

Dosificaciones en seco (% en volumen)	Sable Rouge	Sable Blanche	Cemento	Concha de ostra triturada ("cal")
<b>A (Mezcla de Control)</b>	79%	12%	9 %	-
<b>B</b>	80,6%	12,4%	7 %	-
<b>C</b>	79%	12%	6 %	3 %
<b>D</b>	79%	12%	3 %	6 %
<b>E</b>	79%	12%	-	9 %

El proceso de producción de bloques de las mezclas B, C, D y E, será exactamente el mismo que se realiza con la mezcla A (mezcla de control). Así entonces, las distintas dosificaciones tendrán añadida la misma cantidad de agua. Se usa como referencia la humedad óptima calculada para la mezcla de control. Un 12% de humedad.

Cuando se realizó el estudio, se piensa en añadir cal en vez de cemento pensando que podría ser un buen sustituyente. Sin embargo, para que la cal pueda reaccionar con el agua y convertirse es un buen estabilizante debe ser cal viva. La cal viva se podría haber obtenido, calentando las ostras a grandes temperaturas pero no se disponía de los recursos suficientes. De esta manera, la "cal" que se añadió no actuó como estabilizante químico. Es posible que la cal actuará como estabilizante físico debido a que su tamaño de partículas podría ser considerado un filler y podría cambiar la granulometría de la dosificación del suelo.

## 4.3 Ensayos de caracterización

La dificultad de encontrar los códigos y normativas Senegalesas que sirven de guía para la ejecución de obras con construcciones de tierra (y en particular con BTC), es lo que ha hecho buscar alternativas para garantizar la resistencia a compresión o la durabilidad. Para ello se ha decidido usar las UNE como marco referencial entendiendo que todas las normativas que existen a nivel mundial siguen unos cánones parecidos.

### 4.3.1 Propiedades físicas

#### 4.3.1.1 Densidad

Probetas: se analizan dos bloques de cada mezcla, analizando 10 en total

Equipo:

- Balanza, con una precisión de 50g
- Metro, con una precisión de 1mm

Procedimiento: Después del tiempo de curado, se miden tres aristas de cada bloque para calcular el volumen. Luego se pesan cada uno de los bloques. Por último se calcula la densidad con la siguiente forma:

$$\text{Densidad seca } \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{\text{Peso seco}(kg)}{\text{Volumen}(m^3)}$$

## 4.3.2 Propiedades mecánicas

### 4.3.2.1 Ensayo de resistencia a compresión no confinada

Este ensayo intenta basarse en el ensayo propuesto por la normativa UNE 772-1. [31] La falta de tecnología necesaria para el ensayo (máquina que aplique una carga constante a compresión) en la zona hicieron que el ensayo tal y cómo está descrito en la normativa fuera imposible de realizar.

Dados los imprevistos se buscó una alternativa dando paso al siguiente procedimiento:

- Se realiza una columna de 5 hiladas para cada tipo de muestra. Se sitúan los bloques de la misma manera que en un muro para que sea una muestra representativa. La dirección del bloque esta girada horizontalmente 90º respecto el piso inferior.
- Se sitúa un barril con capacidad de 250 L y con una base  $\varnothing=60$  cm encima de la columna.
- Con la ayuda de una manguera, se rellena el bidón a una velocidad de 0,5 l/s.
- Cuando se produce rotura en la columna, se saca la manguera y se calcula el volumen de agua que hay en el barril.
- Con la ecuación  $\sigma_c=P/A$  se obtiene la resistencia la cual consiste en dividir la carga máxima aplicada entre el área de la superficie cargada. Siendo:  $\sigma_c$ : La resistencia a la compresión,  $P$ : La carga máxima aplicada,  $A$ : El área de la superficie cargada. Suponiendo que el material se comporta elásticamente el valor calculado será la resistencia a la compresión no confinada.
- De modo ilustrativo e informativo, se miden las deformaciones de la columna una vez el depósito ha sido llenado.
- Este procedimiento se realiza para curado a 7, 21 y 28 días.

En las siguientes imágenes se puede observar las cinco columnas hechas por un trabajador de la obra y su proceso constructivo hecho con nivel. También se puede observar el momento del ensayo en el cuál se llena el depósito con agua y la toma de medidas posterior al llenado del depósito.



Figura 33- Construcción de las 5 columna con obrero especializado. Fuente propia



Figura 34- Llenado del barril con agua y cálculo de la deformación. Fuente propia

### 4.3.3 Propiedades de durabilidad

Para poder garantizar la durabilidad de los bloques, se ha usado como referencia la normativa UNE 41410 [18] desarrollando los ensayos: “Humectación-Secado”, “Erosión acelerada Swinburne (SAET)” y “Absorción de agua por capilaridad”. También desarrollamos el ensayo “Resistencia a la acción del goteo” que se propone en el trabajo de final de máster de Telma Jarquín. [32]

#### 4.3.3.1 Ensayo de Humectación- Secado

Probetas: Se deben tomar dos bloques enteros, usando uno de ellos como referencia.

Equipo: El equipo necesario para realizar el ensayo está formado por los siguientes elementos:

- Una bandeja, de dimensiones suficientes para alojar los BTC sin que exista contacto entre ambos y capaz de contener el volumen de agua necesario para el ensayo
- Tres piezas de apoyo de 3 mm de altura

Procedimiento: Se coloca la cara del bloque que vaya a ser vertical dentro de la bandeja y sobre los apoyos. Se añade agua hasta que quede sumergida hasta 10 mm. Se mantiene sumergida 30 s. Se deja secar al aire, hasta igualar el color del bloque de referencia, y se observa su estado, anotando si aparecen las condiciones de rechazo enumeradas a continuación:

- (C1)Modelo de grietas aleatorio
- (C2)Modelo de grietas en estrella
- (C3)Hinchamiento local
- (C4)Picado local en al menos 5 zonas
- (C5)Pérdida general o local de capas de suelo
- (C6)Penetración de agua en más 70% de la anchura del BTC (visualmente por el exterior).
- (C7)Pérdida de fragmentos mayores a 50 mm, excepto los que provengan de la parte comprendida entre los bordes y 50 mm hacia dentro.
- (C8)Eflorescencia en la superficie

Se repite 6 veces el ciclo de inmersión/ secado/ observación. Al sexto ciclo, se deja secar completamente y se observa.



Figura 35- Ensayo de humectación-secado. Fuente propia





Figura 36- Secado de los bloques en el exterior. Fuente propia

Resultados: Los BTC, ensayados según el procedimiento anterior, resultarán APTOS si tras seis ciclos de humectación/ secado, no se observa ninguna de las condiciones enumeradas anteriormente.

#### 4.3.3.2 Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET)

Probetas: Se ensayaran al menos dos bloques elegidos de manera aleatoria, curados durante 28 días antes del ensayo.

Equipo: En la siguiente figura se muestra un esquema del equipo a utilizar

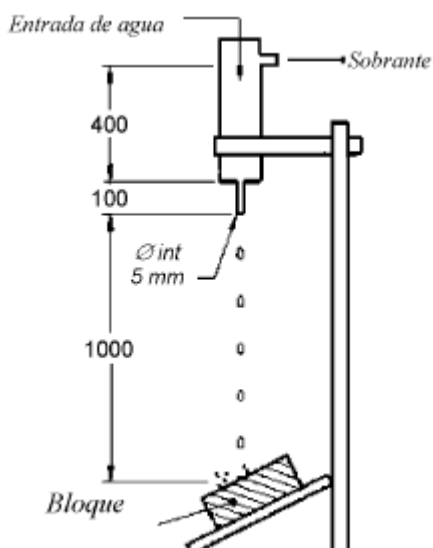


Figura 37- Esquema tipo del ensayo SAET [18]

Procedimiento: Se deja caer una corriente de agua continua sobre el bloque durante 10min a través de un tubo de cristal de  $\varnothing_{interior} = 5 \text{ mm}$ , conectado a un tanque de agua de nivel constante cuya

cabecera está a 1,5 m sobre la cara del bloque. Éste se mantiene inclinado a 27° respecto la horizontal. Con una varilla de  $\varnothing = 3\text{mm}$ , se mide la profundidad de las oquedades, (D) que aparecen.

Resultados: El BTC ensayado conforme a esta norma se clasificaran “apto” o “no apto, según el siguiente criterio expresada en la siguiente tabla:

Tabla 17- Criterios de aptitud del ensayo SAET [18]

Propiedad	Criterio	Resultados
<b>D, (profundidad de la oquedad)</b>	$0 \leq D \leq 10$	Bloque apto
	$D > 10$	Bloque no apto



Figura 38- Sistema construido para realizar el ensayo SAET. Fuente propia



#### 4.3.3.3 Ensayo de absorción de agua por capilaridad

La determinación de la absorción de agua por capilaridad en los BTC se realizará conforme a las Normas UNE- EN 772-11:2001/A1:2006, teniendo en cuenta las observaciones siguientes:

Probetas: Las medidas se efectúan sobre dos bloques enteros de cada mezcla

Equipo:

- Una palangana, con una profundidad de 30 cm y con una base plana de  $\varnothing = 40$  cm.
- Dos piezas de apoyo de 3 mm de altura
- Cronómetro, graduado en segundos
- Pintura impermeable
- Balanza, con una precisión de 50 g

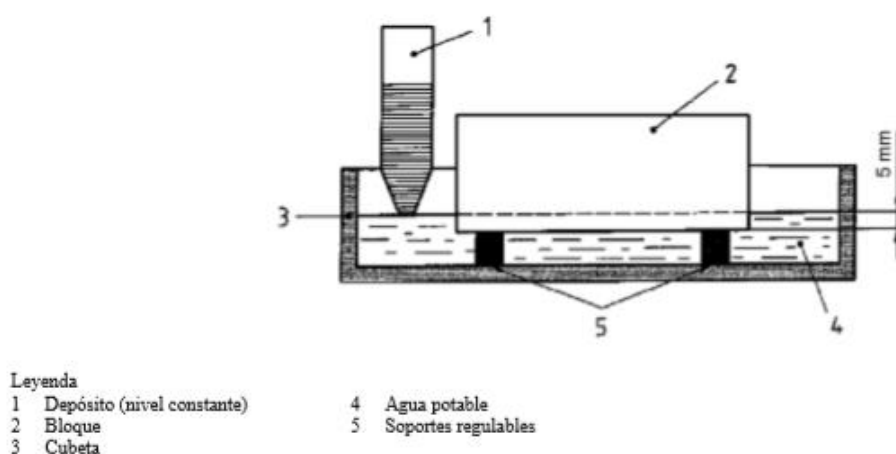


Figura 39- Esquema del equipo para hacer el ensayo de absorción de agua por capilaridad [18]

Nota: Como no se dispone de un depósito que mantenga el nivel constante de agua, se sigue el procedimiento que sigue Telma Jarquín en su trabajo y se pintan los bloques con pintura impermeable. [32]

Procedimiento:

Se dejan secar las probetas a temperatura ambiente y se pesan ( $m_{\text{seco},s}$ ). Una vez secadas, se impermeabilizan las muestras con pintura impermeable sellando alrededor de 5mm de sección que se encontrarán en contacto con el agua. Seguidamente, se miden las dimensiones de la cara a sumergir y se calcula su superficie bruta ( $A_s$ ). Se colocan las probetas con sus caras sobre el soporte de manera que no toquen el fondo de la palangana, y se sumergen en agua de manera que el agua se absorba en dirección ascendente.

Se activa el cronómetro. Se mantienen sumergidas durante 10 min ( $\pm 1$  min). Se cubre el recipiente con un paño para evitar la evaporación de las probetas húmedas). Después del tiempo de

inmersión ( $t_{so}$ ) se sacan las probetas del agua, se las retira el agua de la superficie y se pesan ( $m_{so,s}$ ). Se repite el proceso hasta completar la máxima saturación; teniendo en cuenta que el tiempo es acumulativo. Así entonces la primera vez se sumergen 10 min, la segunda 20, la tercera 40 y así sucesivamente.

Mediante la siguiente fórmula se obtiene el coeficiente medio de absorción para las dos muestras ensayadas de cada mezcla:

$$Cw.s = \frac{M_{so.s} - M_{seco.s}}{A_s \times t_{so}} \times 10^6 \text{ [g / (m}^2\text{x s)]}$$



Figura 40- Pintado y sellado de los bloques + pintura usada. Fuente propia



Figura 41- Pesado del bloque en seco + secado de las probetas. Fuente propia

#### 4.3.3.4 Resistencia a la acción del goteo

Probetas: Las medidas se efectúan sobre dos bloques enteros de cada mezcla

Equipo:

- Un sistema de goteo intravenoso
- Una madera para ejercer de rampa a 27°

Procedimiento:

Se sitúan los bloques de ensayo con una inclinación de 27°. Se dejan caer gotas a un ritmo constante desde una altura de 40 cm. Para cada tipo de bloque se realiza el ensayo con dos frecuencias de goteo distintas:

- En un primer lugar vaciamos 100 cc de agua en 60 minutos. Tenemos como referencia que 1cc= 20 gotas, por lo tanto podemos deducir que  $100\text{ccc} * 20 \text{ gotas} = 2000 \text{ gotas}$ . Estas 2000 gotas las vaciaremos en 60 min por lo que el vaciado tendrá una velocidad de  $2000/60 = 33,3 \text{ gotas/min}$ .
- En segundo lugar haremos un vaciado de 100cc de agua en 20 min dándonos una velocidad de 100 gotas/min.  
 $(100\text{cc} * 20 \text{ gotas} = 2000 \text{ gotas}, 2000 \text{ gotas} / 20 \text{ min} = 100 \text{ gotas/min})$





Figura 42- Colocación del sistema de goteo. Fuente propia



Figura 43- Sistema de goteo construido para el ensayo. Fuente propia

Resultados: El BTC ensayado conforme a esta norma se clasificaran “apto” o “no apto, según el siguiente criterio expresada en la siguiente tabla:

Tabla 18- Criterios de aptitud del ensayo de resistencia al goteo [32]

Criterio	Resultados
Picadura $\leq 1,5$ cm	Bloque apto
Penetración humedad $\leq 12$ cm	Bloque apto

## 5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 5.1 Propiedades físicas

#### 5.1.1 Densidad

En la tabla 18 se observan los valores medios de volumen, peso y densidad de cada tipo de mezcla, después de 21 de curado. Los resultados de densidad obtenidos en la mezcla B son muy parecidos a los valores de la mezcla A (de control). El resto de mezclas dan valores de densidades más pequeños que la que puede ofrecer en primera instancia la mezcla A.

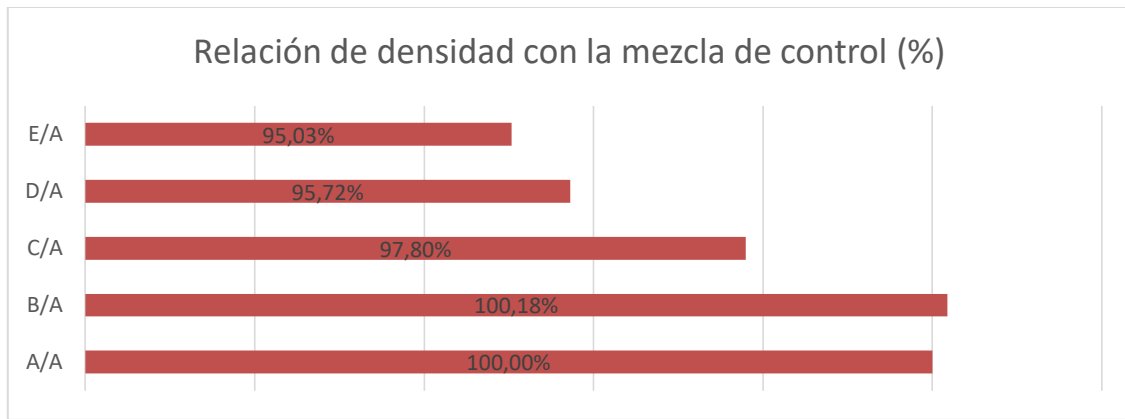
Tabla 19- Datos sobre el ensayo de densidad de bloques

	Volumen medio (m3)	Peso medio (kg)	Densidad media (kg/m3)
<b>A</b>	0,00414	7,58	1830,15
<b>B</b>	0,00405	7,43	1833,41
<b>C</b>	0,00415	7,43	1789,84
<b>D</b>	0,00412	7,23	1751,90
<b>E</b>	0,00405	7,05	1739,26

El método empleado para medir el volumen de los bloques es poco preciso dado que estos no son paralelepípedos perfectos. De esta manera, se considera que las densidades no son muy precisas. También se debe recordar que la balanza usada tiene una precisión máxima de 50g.

Así entonces, los datos obtenidos en la tabla 17 son orientativos, y sirven para referenciar a “grosso modo” si las nuevas dosificaciones propuestas obtienen densidades parecidas a la mezcla de control, la A. En el caso de la mezcla B obtenemos prácticamente la misma densidad y esto es una gran noticia ya que hemos rebajado en un 2% la cantidad de cemento pero mantiene sus propiedades. En los otros casos se observa que la densidad se reduce a medida que se rebaja la cantidad de cemento y se va sustituyendo por cal.

En la figura 44 se observa en que porcentaje la densidad que obtiene cada mezcla se parece a la mezcla de control (A). Siendo la mezcla E la que ofrece los resultados menos parecidos a la mezcla de control, cumple en un 95% sobre la que debería ser su densidad ideal.



**Figura 44- Relación de densidad de las dosificaciones respecto a la mezcla de control**

Todas las mezclas ofrecen densidades entre 1700-2000 kg/m<sup>3</sup> cumpliendo de esta manera los parámetros que muestran en el instituto de tierra de Auroville . [16] Vistos los resultados, de manera orientativa se puede afirmar que todas las mezclas dan densidades aptas para la construcción

## 5.2 Propiedades mecánicas

### 5.2.1 Ensayo de resistencia a compresión no confinada

El ensayo propuesto no resultó satisfactorio. Los medios disponibles en terreno no fueron suficientes para poder calcular la resistencia de los bloques. La presión que ejercía el bidón de agua encima de las torres de BTC (con solo 7 días de curado) no fue suficiente para que se produjera ninguna deformación en ellas, y menos una rotura. Cuando el barril está lleno de agua pesa 260 kg y ejerce una presión de 0,028 MPa sobre la torre. La cantidad de presión es tan baja que prácticamente no aporta nada de información. De este modo, se considera que el ensayo no es correcto.



**Figura 45- Torres resultantes después de realizar el ensayo de resistencia a compresión. Fuente propia**



## 5.3 Propiedades de durabilidad

### 5.3.1 Ensayo de Humectación- Secado (Wet&Dry)

Con el ensayo de humectación-secado se pretendía conocer el efecto del proceso de saturación de agua y secado del material. Las alteraciones que sufre el bloque se debe principalmente al efecto de la presión capilar, la acción disolvente del agua e hinchamiento de materiales arcillosos.

La normativa dice que cualquier bloque que presente alguna de las siguientes condiciones de rechazo no será apto para la construcción: [18]

- (C1)Modelo de grietas aleatorio
- (C2)Modelo de grietas en estrella
- (C3)Hinchamiento local
- (C4)Picado local en al menos 5 zonas
- (C5)Pérdida general o local de capas de suelo
- (C6)Penetración de agua en más 70% de la anchura del BTC (visualmente por el exterior).
- (C7)Pérdida de fragmentos mayores a 50 mm, excepto los que provengan de la parte comprendida entre los bordes y 50 mm hacia dentro.
- (C8)Eflorescencia en la superficie

Las muestras A, B, C y D concluyeron el ensayo, después de 6 ciclos, de manera satisfactoria. Ninguna de las muestras presentó una sola condición de rechazo.

Sin embargo la muestra E no cumplió con los requisitos establecidos. A continuación, se muestra una tabla con la evaluación de la condiciones de rechazo después de cada ciclo para la muestra E.

**Tabla 20- Resultados del bloque tipo mezcla E al ensayo de humectación-secado**

MEZCLA E	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6
<b>C1</b>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
<b>C2</b>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
<b>C3</b>	OK	OK	OK	OK	X	X
<b>C4</b>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
<b>C5</b>	OK	X	X	X	X	X
<b>C6</b>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
<b>C7</b>	OK	OK	X	X	X	X
<b>C8</b>	OK	OK	OK	OK	OK	OK

En el segundo ciclo de humectación-secado la mezcla E ya presenta la condición de rechazo número 5 (perdida general o local de capas de suelo). En comparación con el resto de bloques que

sí que pasan el ensayo, la mezcla E presenta una condición de rechazo muy temprano. Esto quiere decir que la mezcla E tiene una durabilidad mucho peor que el resto en cuanto a resistencia al poder disolvente del agua. La mezcla E presenta una cohesión muy inferior al resto.

En las siguientes fotografías podemos observar los bloques de cada muestra después de los 6 ciclos de humectación-secado. Como se puede observar, el que queda más visiblemente dañado es el bloque E.



Figura 46- Bloques tipo A, B y C después de realizar el ensayo humectación-secado. Fuente propia



Figura 47- Bloques tipo D y E después de realizar el ensayo humectación-secado. Fuente propia

### 5.3.2 Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET)

Unos de los principales mecanismos de daños es la lluvia que causa erosión en los muros de tierra y esto se debe a la energía cinética (factores que influyen: intensidad de lluvia; ángulo de la lluvia; ancho de aleros y rugosidad del muro) asociada con las gotas que caen en la superficie del elemento.

En este ensayo se pretendía conocer las oquedades que se formarían en las distintas muestras. La normativa nos dice que si las oquedades son superior a 10 mm se desestimará el bloque para el uso constructivo. [18] En la tabla 20 se observan los resultados obtenidos en el ensayo.

**Tabla 21- Resultados obtenidos en el ensayo de erosión acelerada Swinburne**

Tiempo		Daños obtenidos		Categoría
<b>A</b>	A1	10 minutos	Ninguno	APTO
	A2		Ninguno	APTO
<b>B</b>	B1		Ninguno	APTO
	B2		Ninguno	APTO
<b>C</b>	C1		Ninguno	APTO
	C2		Ninguno	APTO
<b>D</b>	D1		Ninguno	APTO
	D2		Ninguno	APTO
<b>E</b>	E1		40 mm de picadura + desintegración de parte del bloque	NO APTO
	E2		90 mm de picadura + desintegración de parte del bloque	NO APTO

De nuevo, la mezcla E vuelve a demostrar una mala durabilidad, en este caso con la abrasión de agua. A los pocos segundos de empezar el ensayo, los bloques E1 y E2 empezaron a perder partículas de suelo por la zona dónde caía el agua. Pasados los 10 minutos, los dos bloques no solo habían perdido material en la zona donde caía el chorro de agua sino que la zona de debajo que simplemente se mojaba, también ha perdido capas de suelo.

El resto de bloques no han sufrido ningún tipo de daño pasados los 10 min de ensayo. Así entonces, este ensayo considera que las dosificaciones A, B, C y D sí que son dosificaciones aptas para la construcción a diferencia de la dosificación E.





Figura 48- Bloques tipo A, B, C y D después de realizar el ensayo SAET (en el bloque C y D se señala con un clavo la zona donde sufría el impacto del agua). Fuente propia

En las siguientes fotografías se puede observar el resultado de los bloques de la mezcla E después del experimento, totalmente dañados.



Figura 49- Bloques tipo E después de realizar el ensayo SAET. Fuente propia

### 5.3.3 Ensayo de absorción de agua por capilaridad

En este ensayo se quería analizar la capacidad que tenían los bloques de las distintas mezclas para absorber agua por capilaridad.



En primer lugar es necesario mencionar que los bloques de la mezcla E no pudieron ser ensayados. En los primeros 10 min de absorción de agua quedaron totalmente dañados y no se pudo seguir con el ensayo. Como no se pudieron recoger datos de la mezcla E, no aparece en ninguno de los resultados. En las siguientes imágenes se puede apreciar cómo acabaron. El resto de bloques pudieron ser ensayados con total normalidad. Esta pérdida de cohesión de los bloques por el simple hecho de estar en contacto con el agua, nos demuestra que el bloque no es apto para la construcción.



Figura 50- Desintegración de los bloques E en medio del ensayo de absorción de agua por capilaridad. Fuente propia

Por otro lado, el bloque D1 se rompió en el tercer ciclo. Se cayó al suelo cuando se estaba transportando a la balanza para pesarlo. Por falta de tiempo y de bloques, no se pudo repetir el ensayo. Es por eso que solo se tienen datos del bloque D1 en el ciclo 1 y 2.



Figura 51- Bloques A, B, C y D durante el ensayo de absorción de agua por capilaridad. Fuente propia

Después de pesar los bloques por sexta vez, justo después de estar en remojo durante 160 min, empezó a hacerse de noche. Para no parar el experimento, se decidió dejar los bloques en remojo hasta que llegaran a su absorción máxima (saturación). Al día siguiente, 16 horas después



de pesarlos por sexta vez se pesaron los bloques. Se dejaron en remojo una hora más y se pesaron de nuevo dando los mismos resultados. Por lo tanto, a las 16 horas los bloques ya habían llegado a su peso de saturación.

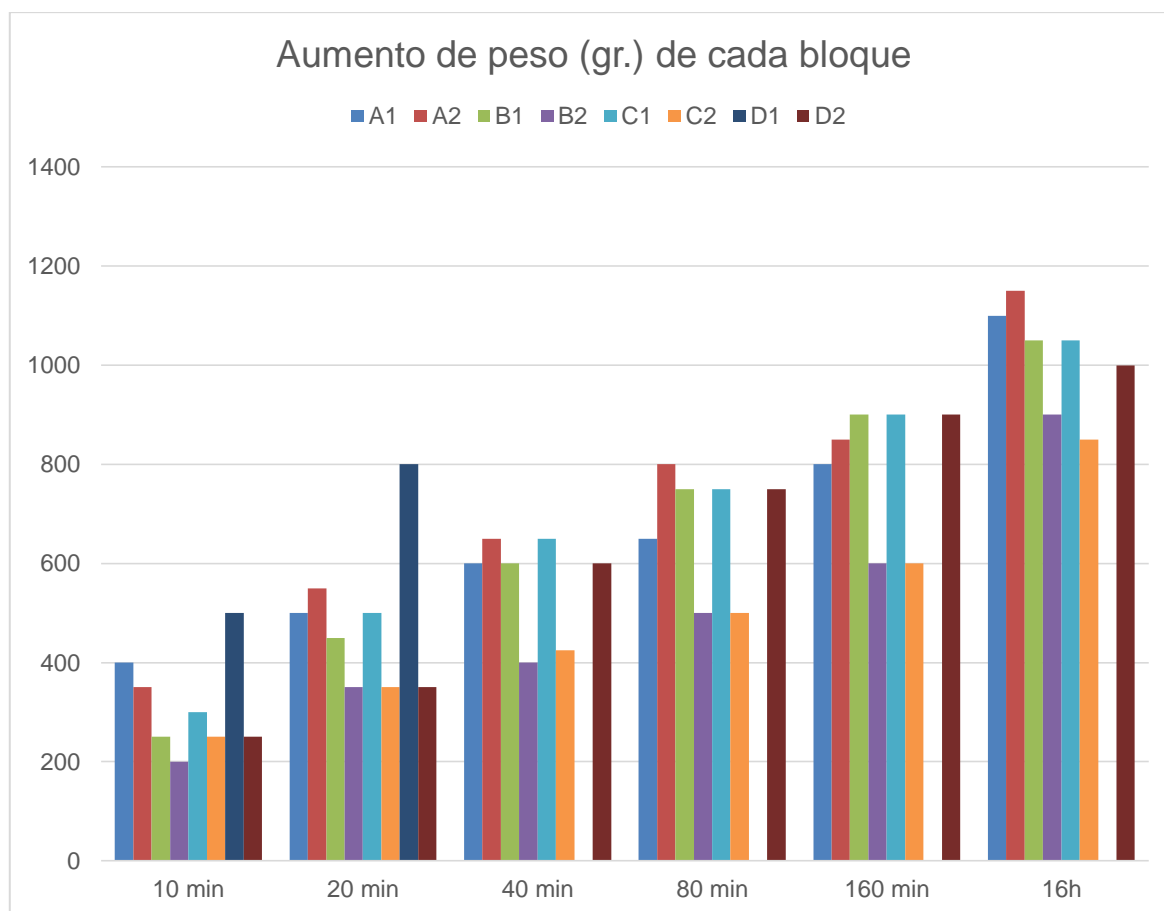
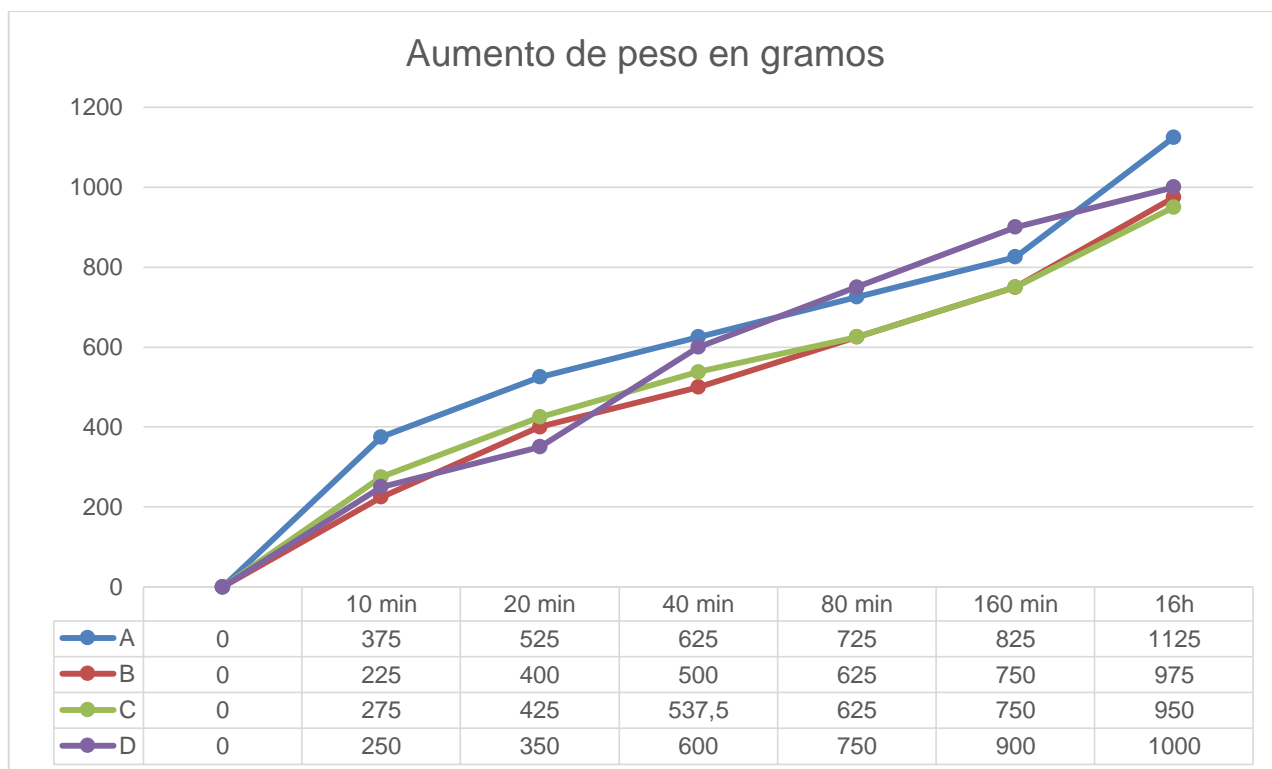


Figura 52- Aumento de peso de los 8 bloques ensayados en el ensayo de absorción de agua por capilaridad

En la figura 52 se recoge el aumento de peso que tuvo cada uno de los bloques se calculó. Se recuerda que el bloque D1 se rompió en mitad del ensayo. Por los datos obtenidos, se supone que el bloque no debería estar bien sellado del todo con la pintura ya que absorbió agua muy rápidamente. Así entonces, cuando se representan las medias en la gráfica 4 no se tienen en cuenta los valores de D1.



**Figura 53- Media de aumentos de peso según tipo de bloques (A, B, C o D)**

En la figura 53 se ha realizado una media con las dos probetas de cada mezcla. Se observa que la mezcla A es la que absorbe agua con más rapidez y que en su punto de saturación. También es quien ha absorbido más agua. Se observa que la mezcla B y C tienen comportamientos muy similares. La mezcla D tiene un comportamiento menos regular que el resto y vemos que su evolución no sigue un patrón definido. Como en la mezcla D solo se pudo evaluar un bloque, se considera que este tipo de absorción no es enteramente representativo.

En la figura 54 se puede observar los valores de succión capilar calculada por cada ciclo. En el primer ciclo, se observa que la mezcla A, que es la que tiene mayor cantidad de cemento, tiene el mayor coeficiente de absorción. Parece ser, que la capacidad de absorción sea directamente proporcional a la cantidad de cemento que tenga la dosificación. Sin embargo, la mezcla C y D tienen mayor capacidad de absorción que la mezcla B en los primeros ciclos. Esto puede ser debido a que estas dos contienen cal, y la B no. De todas formas, queda patente que la cantidad de absorción depende del estabilizante añadido.

Cuando los bloques llegan a su absorción máxima, se observa que el coeficiente de absorción es muy similar para todas las dosificaciones.

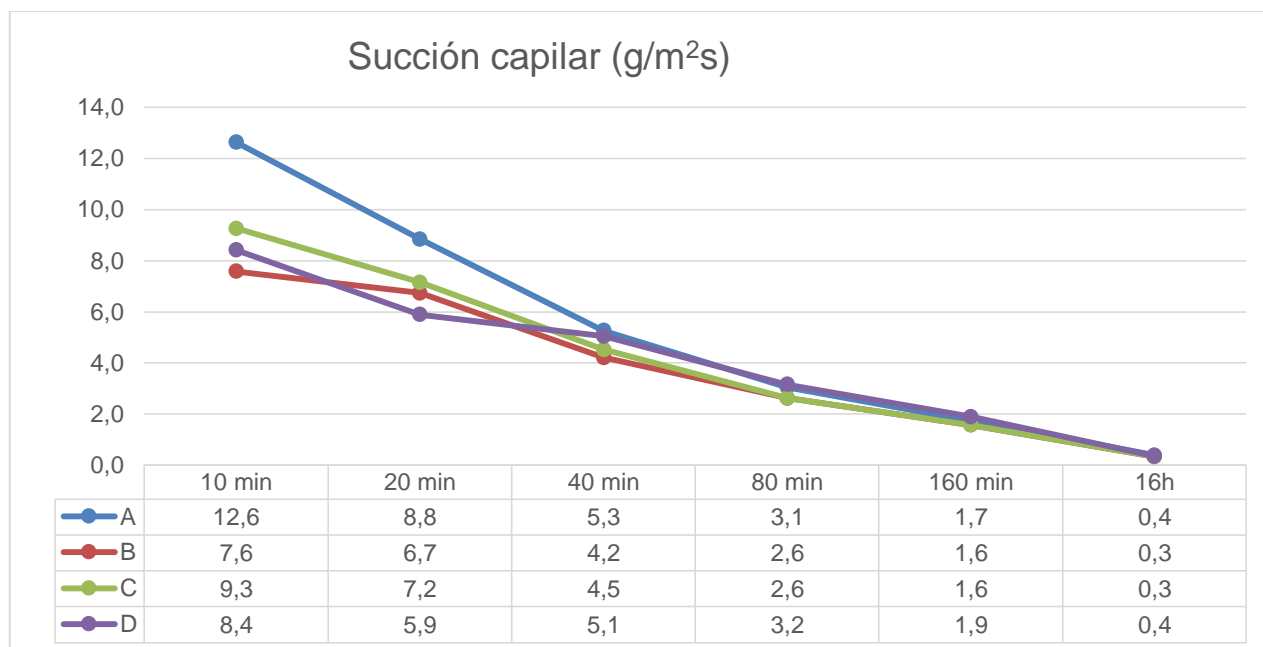


Figura 54- Coeficiente de absorción calculado para cada tipo de bloques según avanzaba el tiempo (A, B, C y D)

La norma UNE 41410 propone realizar este ensayo pero no propone como interpretar los resultados. [18] Los resultados obtenidos son meramente informativos para saber qué capacidad tienen los bloques para absorber agua.

### 5.3.4 Resistencia a la acción de goteo

En este ensayo se quiere determinar la profundidad de picadura y la penetración de la humedad que sufre un bloque mediante la acción de goteo de agua. Como criterio se recuerda que los bloques aptos serán aquellos que tengan picaduras menores a 1,5 cm y penetraciones de humedad menores a 12 cm.



Figura 55- Bloques después del ensayo de resistencia a la acción de goteo. De izquierda a derecha: Bloques A, B, A2, B2, C, C2, D, D2, E Y E2. Fuente propia

En ninguno de los bloques ensayados se observa ningún tipo de picadura. Sin embargo, si podemos observar la penetración de la humedad. En la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos.

**Tabla 22- Resultados de los bloques ensayados a resistencia a la acción de goteo**

<b>Penetración humedad</b>	<b>60 min (cm)</b>	<b>20 min (cm)</b>
<b>A1</b>	4	4,7
<b>A2</b>	5,5	6
<b>B1</b>	5	6,8
<b>B2</b>	3,5	5
<b>C1</b>	2,2	4,3
<b>C2</b>	3	5
<b>D1</b>	3,1	4,1
<b>D2</b>	2	3,5
<b>E1</b>	4	6,2
<b>E2</b>	2,5	5,5

Según estos resultados, cómo todos los bloques tienen una penetración de la humedad menor a 12 cm, se podrían determinar todos los tipos de mezcla aptas para la construcción.

Este ensayo se realizó antes de hacer ensayo de erosión acelerada. Se realizaron en este orden porque el ensayo de resistencia a la acción de goteo es menos agresivo que el otro y si algún bloque no hubiera pasado este ensayo, no habría sido necesario hacer el siguiente.

Visto la reacción de los bloques se concluye que este ensayo es poco eficiente para evaluar las propiedades de un BTC y se comprende porque no es un ensayo propuesto por la normativa española. Podría probarse con otras técnicas que no usan la compactación como sería el Adobe.

## 6. CASO REAL: RECONSTRUCCIÓN DE LA BIBLIOTECA DE UN INSTITUTO

---

### 6.1 Introducción

Durante tres meses y medio, del 17 de Febrero al 26 de Mayo de 2018, tuve la oportunidad de dirigir, junto a una estudiante de arquitectura de la ETSAV (Sara), la reconstrucción de la biblioteca del instituto de Mlomp. Mlomp, es un pequeño pueblo de 3.000 habitantes. Se encuentra a 6 km de Thionck Essyl, sitio dónde se realizó la fase experimental mencionada anteriormente.

Mi estancia allí resultó de un anuncio que vi publicado por parte de Base-A que decía que necesitaban voluntarios. Hacía tiempo que tenía intención de probar una experiencia de cooperación internacional y encontré en esta, la oportunidad perfecta.

Antes de nada, pongo en situación a Base- A. “Base-A es un colectivo de jóvenes arquitectos y estudiantes que entendemos la arquitectura como herramienta de transformación social. Dentro del ámbito de la cooperación y la formación , realizamos actividades en materias relacionadas con la edificación, la rehabilitación y el urbanismo, desde el enfoque del desarrollo sostenible y participativo.” - anuncian en su página web. Estos estudiantes y exestudiantes están asesorados por profesores de la Universidad Politécnica de Catalunya y todos sus proyectos participan del CCD (Centro de Cooperación y Desarrollo) de la misma UPC. Así entonces mi actividad se encuentra dentro de la memoria de proyectos del CCD de 2018.

El proyecto que me ofrecieron, era poder reparar un antiguo proyecto suyo. Entre 2016-2017 construyeron una biblioteca para el CEM (instituto) de Mlomp. La biblioteca se realizó con la técnica tradicional de allí, muy parecida al cob, donde se mezcla el suelo con fibras vegetales y luego se moldea la pasta formando una pared. Por desgracia, no se tomaron las prevenciones necesarias y se colaron termitas dentro de uno de los muros. Por lo tanto, debíamos ir allí, demoler el muro y reconstruirlo de nuevo. A su vez, al lado de la biblioteca construyeron un porche cuya estructura estaba hecha con madera y el techo con aluminio. Durante la época de lluvias, con la llegada de unos vientos muy fuertes, se cayó. Nosotros, aprovechando el desplazamiento también debíamos reconstruirlo.

La contraparte de este proyecto es la asociación Amics de Senegal del Bages (ASEB) quienes participantes son senegaleses que residen en el Bages y desde esta asociación promueven la propia integración de los senegaleses en el territorio y la captación de recursos económicos para poder enviar a sus familias que viven en Senegal.



Aprovechando que iba a realizar este proyecto, decidí también realizar mi trabajo final de grado allí sobre un tema relacionado. De esta manera tuve que hacer a la vez, la reconstrucción de la biblioteca y la fase experimental del trabajo.

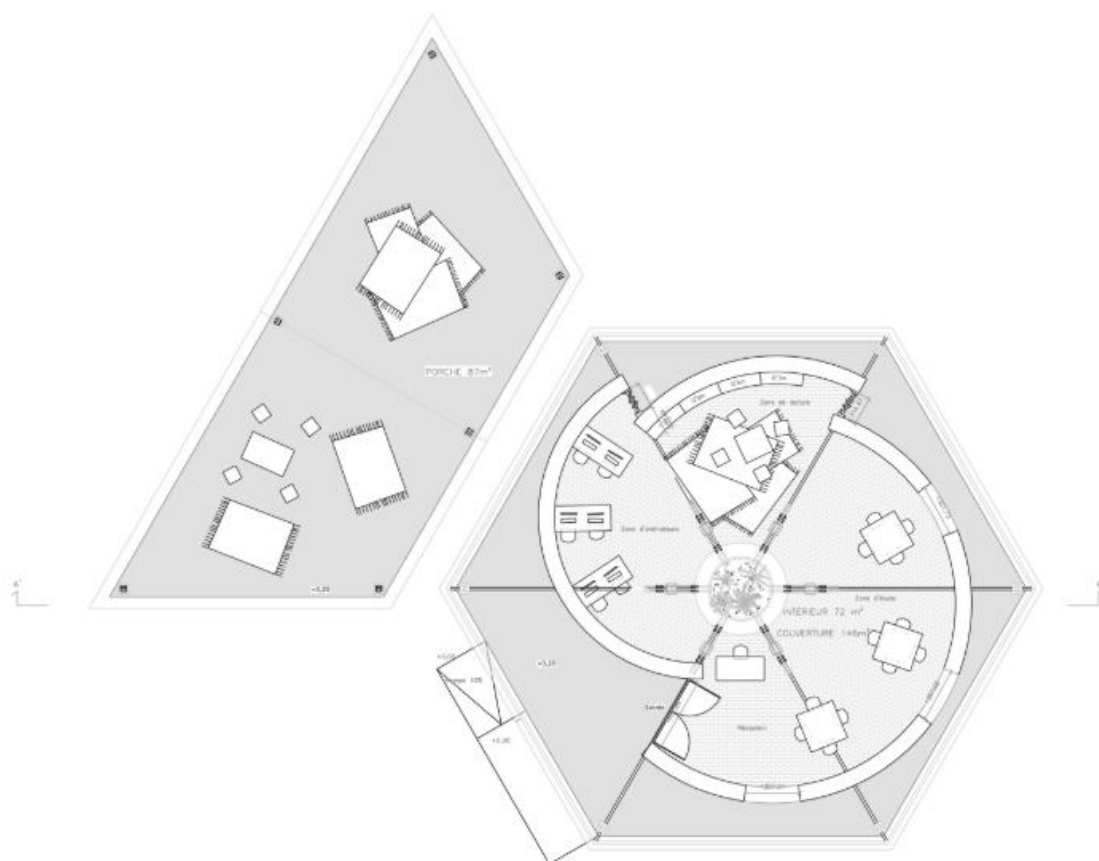


Figura 56- Planta de la idea piloto de la biblioteca (a la derecha) y del porche (a la izquierda)

## 6.2 Preparación

Los meses previos a partir, Sara y yo quedábamos semanalmente con Berta, trabajadora y coordinadora del proyecto, para realizar una buena preparación. Se planificó la estancia realizando cronogramas y presupuestos, se estudiaron los planos antiguos, se contactó con el CEM de Mlomp, se buscaron posibles soluciones al problema y se discutió sobre cómo debía ser la ejecución. Se decidió que la mejor solución era reconstruir la pared con Bloques de Tierra Compactado estabilizados con cemento, técnica que ya había usado la misma coordinadora cuando, en 2014, construyó una aula para el mismo CEM.

Parte de la preparación, fue realizar un taller de construcción con BTC en el Montseny como se puede observar en la figura 57. También se adjunta en la figura 58 el cronograma preparado previamente en Barcelona. En un principio la estancia era de 3 meses pero no se pudo cumplir con el cronograma y alargamos la estancia dos semanas.



Figura 57- Taller de realización de BTC en el Montseny. Fuente propia

Cronograma del procés arquitectònic	2018											
	Feb			Mar			Abril			Maig		
<b>ENTREVISTA</b> i obtenció de <b>PRESSUPOST</b> amb els equip de BTC												
Lloguer màquina <b>BTC</b>												
<b>ENCÀRREG</b> argila i sorra												
<b>ARRIBADA</b> argila i sorra												
<b>ENTREVISTA</b> i obtenció de <b>PRESSUPOST</b> amb els equips de fusters												
Anàlisi de l'estat dels fonaments i pletines del porxo												
Mesurar i classificar fustes												
Alçat (estanteries)i replanteig mur												
Realització <b>BTC</b>												
Assecat <b>BTC</b>												
Aixecament <b>MURS BTC</b>												
Arrebossat mur interior i exterior												
Reparar ancoratges pilars porxo (en cas necessari)												
Compra material necessari porxo (pilars, fustes extra)												
Muntar pilars i encavallades												
<b>AIXECAMENT</b> porxo												
Col·locació de la xapa												
Col·locació de la palla												

Figura 58- Cronograma esquemático realizado en la preparación de BCN (en Catalán)

Este cronograma tuvo que rehacerse constantemente en Senegal pero nos sirvió de referencia para saber si cumplíamos los plazos previstos o no.

### 6.3 Fase de ejecución

Al llegar, lo primero que hicimos fue inspeccionar la zona afectada. De esta manera pudimos verificar que había pasado con nuestros propios ojos. En la ilustración 49 se puede observar el estado de los muros afectados por el infesto de termitas.



Figura 59- Estado resultante de los muros por la acción de las termitas. Fuente propia

Una vez analizado el estado, empezó la fase de gestación del proyecto. Fueron necesarias varias semanas para:

- Replantear la obra in situ, con medidas reales
- Encontrar a obreros con experiencia y llegar a un acuerdo
- Encontrar el material necesario a un precio real

Sin mencionar la necesidad de adaptación mental y física por la que tuvimos que pasar.



Cuando ya nos encontramos situados, empezamos la fase de ejecución de obra. En esta, explicaré sobretodo la demolición y construcción del muro. La reconstrucción del porche no la mencionaré pero es un trabajo que coexistió en el tiempo con el otro.

### 6.3.1 Producción de los BTC

En primer lugar tuvimos que encontrar los materiales que íbamos a usar (“sable rouge”, “sable blanche” y cemento) y transportarlos al CEM, encontrar una prensa de BTC que pudiéramos alquilar y unos obreros que supieran manejarla.

En la misma escuela, se preparó una parte del terreno para poder ejecutar el proceso. Con la ayuda de machetes, palas y escobas, se aplanó y limpio la zona donde se iban a depositar los BTC. También se excavó un agujero donde se depositó la base de la prensa y se tapó con cemento. Se dejó la prensa nivelada y fijada de manera que no se moviera cuando se hiciera la compresión con palanca. Para la fabricación de y curado de los BTC se realizó el mismo procedimiento que se expone en el apartado 4.2.2 de este trabajo. La producción de BTC era de una mediana de 120 al día.



Figura 60- Producción de BTC para el muro de la biblioteca del CEM Mlomp. Fuente propia

### 6.3.2 Reconstrucción del muro

Durante el proceso de curado de los bloques se empezó la demolición del muro. La biblioteca está formada por una estructura portante hecha de madera y de tres muros en forma de vano. El mayor de ellos era el que estaba infestado por termitas. La demolición del muro no suponía un problema ya que ninguno de estos soportaba una gran carga estructural. Aun así, los vanos estaban conectados por los cimientos y por un dintel superior. Por esta razón, se decidió demoler y reconstruir el muro por partes manteniendo la estructura del dintel intacta.



Figura 61- Demolición del muro. Fuente propia

Sin embargo, una mala decisión de los obreros por no querer seguir nuestras indicaciones sumado a una mala supervisión por nuestra parte y a una mala ejecución del dintel en su día, hizo que el dintel se cayera partido por la mitad. Los obreros demolieron demasiada parte del muro y dejaron una luz muy grande para el dintel. Además al partirse el dintel descubrimos que en su día, el hierro que hacía de armadura no estaba bien atado entre sí, y por lo tanto, no transmitía bien los esfuerzos.





Figura 62- Foto del dintel partido por la mitad. Fuente propia

Este hecho, hizo que tuviéramos que replantear la obra de nuevo buscando la mejor solución. La decisión final fue deruir todo el vano de nuevo junto al dintel. Era la opción más segura aunque disponíamos de tiempo y dinero muy limitado. Se sacó también la parte que ya se había levantado porque debido a la caída del dintel había quedado muy dañada. Esta solución nos obligó a alargar nuestra estancia allí y también a buscar más financiación. De hecho, el presupuesto que teníamos, ya veíamos que se nos iba a quedar corto antes de tener este percance. Dado que, ni ASEB ni Base-A disponían de recursos económicos para acabarlo en un principio avanzamos nosotros el dinero. En este momento, encuentro necesario mencionar a mis amigos y a los amigos de Sara, que sin conocerse, se juntaron y organizaron un evento para recaudar fondos y poder recuperar el dinero que nosotros habíamos invertido.

Para construir el muro, se hizo con un mortero cuya dosificación era la misma que la de los bloques. De esta manera, aseguramos que la cohesión entre bloques se la adecuada y, a su vez, respetamos las propiedades higroscópicas que tiene la tierra. También hace más fácil la integración de las ventanas que estaban hechas con madera.



Figura 63- Levantamiento del muro con los BTC. Fuente propia

Como se trata de un muro curvilíneo, se tuvo que vigilar mucho con el grosor de las juntas entre bloques, ya que estas, quedaban más gruesas en el exterior del muro. Los obreros que estuvieron con nosotros no hacían ningún tipo de atención y por ello tuvimos que estar con ellos colocando los bloques de manera correcta. Este hecho, juntamente con el incidente del dintel, hizo que buscáramos a nuevos obreros para construir el nuevo dintel y rebozar el muro.



El dintel se construyó con hormigón armado vigilando que las armaduras estuvieran bien conectadas entre ellas y con las armaduras de los dinteles de los otros dos vanos. El encofrado se realizó con maderas y la ayuda de grapas de hierro. El rebozado, se realizó con la misma dosificación que los BTC y el mortero pero añadiendo cal. Este rebozado es típico en la zona y deja un color que se integra perfectamente con el paisaje. La cal, ofrece una mayor dureza que ayuda a proteger el muro de las inclemencias del tiempo sin dañar las propiedades de la construcción con tierra.



Figura 64- Proceso de la mezcla para el rebozado con cal. Fuente propia



Figura 65- Proceso de rebozado de la pared. Fuente propia

En uno de los muchos replanteos que tuvimos que hacer de la biblioteca, decidimos que esta pudiera tener más funciones. Esto es debido al contexto que nos encontramos allí. Cuando se construyó la biblioteca, no solo fueron arquitectos para supervisar la obra, sino que fueron educadores sociales con ellas para promover y fomentar la lectura. Aunque el trabajo que se hizo

fue muy bueno, los frutos no lo han sido tanto. De esta manera, vimos que estábamos reconstruyendo una biblioteca que, prácticamente, no iba a ser utilizada. Por lo tanto, decidimos construir mesas, bancos y una pizarra que ocuparan la mitad de la biblioteca dando doble funcionalidad a esta y pudiendo ser usada como biblioteca, o como aula.



Figura 66- Vista de la biblioteca con el dintel secándose encima del muro y con el porche por construir. Fuente propia



Figura 67- Construyendo el mobiliario interior con el porche y el muro ya construidos. Fuente propia





**Figura 68- Vistas desde el interior, de la biblioteca finalizada. Fuente propia**

Como se puede observar en medio de la biblioteca hay un “implovium”, que consiste en una zona con pozo de gravas dónde cae el agua cuando llueve y permite una mejor ventilación y más luminosidad. Estas construcciones eran típicas de la zona e incluso aún se pueden encontrar algunas edificaciones antiguas con esta técnica.

En la foto de arriba de la figura 68 se puede observar las mesas y bancos que hicimos nuevos, más la pizarra que pintamos en el nuevo muro. También se aprecia las telas que pusimos encima de los muros para que no entrara tanto polvo, y la instalación eléctrica que tuvimos que conectar de nuevo.



## 6.4 Valoración personal

La valoración que saco de esta experiencia es muy positiva. Estoy seguro que esta ha dejado en mí un gran aprendizaje y crecimiento como persona y como profesional.

A nivel personal, ha sido un proyecto complicado. Sobre todo, por los imprevistos que han ido surgiendo y por haber tenido que aprender a trabajar con gente tan distinta a mí, en una cultura y un entorno tan diferenciado. Ha sido todo una escuela de gestión de conflictos (con los trabajadores sobre todo), de humildad, de saber escuchar, de trabajar en equipo, de querer aprender más y compartir conocimiento.

Técnicamente, tampoco ha sido un proyecto fácil. Mis conocimientos previos sobre la construcción con tierra eran prácticamente inexistentes y este trabajo me ha obligado a sumergirme en un mundo del cual se conoce poco pero que cada vez está más reglado y hay más gente que quiere apostar por él y analizarlo. Así entonces, he descubierto en la construcción con tierra una dimensión que cuida la sostenibilidad, que tiene mucho futuro por delante y por la que creo que deberíamos apostar. Así entonces, pude confirmar que soy un inexperto en el mundo de la construcción pero que, con experiencias como esta, podré ir creciendo como profesional.

## 7. CONCLUSIONES

---

### 7.1 Fase experimental

Fruto de la fase experimental realizada se llega a las siguientes conclusiones:

En primer lugar, se concluye que la técnica del BTC es una muy buena opción para construir en la zona de Blouf, Ziguinchor. La mayoría de gente opta por utilizar bloques de hormigón y, si disponen de poco dinero, realizan la técnica tradicional o adobes. Creo importante transmitir a la población local, y sobre todo al gremio constructor, que es una técnica por la que apostar. Es necesario formar a más gente para saber producir BTC aunque el procedimiento no es complicado.

En segundo lugar, cabe explicar que los cambios producidos durante la fase experimental han afectado en los resultados. En un principio se pretendía usar cal como estabilizante químico, pero al haber obtenido y añadido carbonato cálcico, este habrá afectado la granulometría de la dosificación y podría funcionar como una adición inerte que diera mayor densidad a la mezcla.

Los resultados obtenidos en las densidades de los bloques se encuentran dentro de los parámetros recomendados por CRATerre [22] i AIE [16], entre 1700- 2000 kg/m<sup>3</sup>. Se destaca el comportamiento de la mezcla B que teniendo un 7% de cemento (un 2% menos que la mezcla de control) adquiere la misma densidad que la mezcla de control.

Los resultados obtenidos en el ensayo de compresión no son válidos. Sabemos que todas las mezclas pueden soportar resistencias menores a 0,028MPa pero este dato es muy bajo y no es significativo. No sabemos si pueden soportar entre 1-5 MPa como recomienda CRATerre [22] para los BTC. Sin embargo, tenemos como ejemplo, el buen comportamiento de estos bloques en edificaciones hechas con BTC en la zona que llevan más de 20 años en pie verificando el buen funcionamiento de la mezcla de control.

Los resultados obtenidos en el ensayo de humectación-secado dan a conocer que la durabilidad de la dosificación E, que contiene un 9% de carbonato cálcico y no contiene cemento, es mínima. Se trata de la única dosificación que no contiene estabilizante químico y por lo tanto, se demuestra de la necesidad del estabilizante químico para construir BTC con los suelos de la región. Sin embargo, todas las otras mezclas si superan el ensayo con éxito.

Los resultados obtenidos en el ensayo de erosión acelerada nos confirma, de nuevo, la poca durabilidad de la mezcla E y, a su vez, nos confirma que las otras dosificaciones si tienen una buena durabilidad, ya que se trata de un ensayo mucho más agresivo.

Los resultados de la succión capilar señalan que la mezcla de control (9% de cemento) es la que tiene mayor capacidad de absorción en primera instancia y el resto de mezclas tienen

comportamientos parecidos. Sin embargo, cuando se acercan a su saturación, todas las mezclas tienen una capacidad de absorción parecida. (Se recuerda que en este ensayo no se pudieron usar los bloques E ya que se deshicieron totalmente).

Los resultados de resistencia al goteo nos indican que se trata de un ensayo poco agresivo y se concluye que no es un buen indicador de la durabilidad de un BTC.

De esta manera, todas las conclusiones anteriores nos indican que la cantidad de cemento (9%) que se usa en el territorio para producir BTC estabilizados podría estar sobreestimada. Es cierto que está del lado de la seguridad, pero los ensayos físicos y de durabilidad, nos indican que sería suficiente con un 5-7%. Faltaría por saber si con esta dosificación podrían ofrecer una buena resistencia. También falta por concluir, si la cal podría ser un buen sustituyente para el cemento.

También nos indican que la adición de material inerte como es el carbonato cálcico da buenos resultados, según sus propiedades físicas y de durabilidad, si se combinan con cemento. Faltaría saber también si pueden ofrecer una buena resistencia.

## 7.2 Reconstrucción de la biblioteca

Fruto de la experiencia en la reconstrucción de la biblioteca nacen cuatro conclusiones.

En primer lugar, cuando uno se desplaza fuera de su país para realizar un proyecto es muy importante realizar una buena preparación. Uno debe: formarse sobre los materiales y metodologías constructivas que utilizará, saber de qué recursos podrá disponer allí, aprender lenguaje técnico en la lengua del país y, aceptar de antemano, que será necesaria una adaptación.

En segundo lugar, creo que es necesario hacer el desplazamiento junto a una persona que participe en el proyecto y conozca el terreno previamente. El hecho que nuestra coordinadora del proyecto estuviera en Barcelona hizo más difícil nuestra adaptación. Por suerte, en el pueblo de al lado, en Thionck Essyl, nos encontramos a otros voluntarios catalanes participando del proyecto “Fem escola” de Foundawtion (dónde realicé la fase experimental del trabajo) que nos ayudaron en todo momento y fueron clave para poder llevar la reconstrucción de la biblioteca a cabo.

En tercer lugar, remarcar la importancia de la construcción con tierra en países del sur o países del tercer mundo (como comúnmente son denominados). Este tipo de construcción que tan importante ha sido al largo de la historia en todo el mundo, y que parece para nosotros obsoleta, responde perfectamente a los recursos que ellos tiene y las necesidades que deben cubrir. Es por ello, que encuentro necesario un mayor ahondamiento en estas técnicas para poder mejorarlas. A su vez, estas técnicas mucho más sostenibles que las nuestras nos obligan a replantearnos cómo estamos construyendo y que herencia estamos dejando a las generaciones venideras.

Por último, concluyo que el mundo de la cooperación internacional aún tiene mucho camino por recorrer para ser eficiente. Este entorno a menudo carece de recursos económicos, y estos, deben ser suplantados por mucha energía y tiempo de gente que normalmente realiza otros trabajos para poder ganarse la vida. Por este motivo, se trata de proyectos poco profesionales (en muchos casos) cuándo debería ser totalmente lo contrario. Sin embargo, no podemos caer en el error de, queriendo profesionalizar el sector, realizar proyectos que no cubren la necesidad real de la población o que no se adecuan al entorno.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] «Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Casamance>. [Último acceso: junio 2019].
- [2] L. H. Machado, «África no es un país: Casamance, 30 años en su laberinto,» El País, 10 Julio 2012. [En línea]. Available: [https://elpais.com/elpais/2012/07/10/africa\\_no\\_es\\_un\\_pais/1341901080\\_134190.html](https://elpais.com/elpais/2012/07/10/africa_no_es_un_pais/1341901080_134190.html). [Último acceso: Mayo 2019].
- [3] D. y. c. Fundación Tierra Ibérica, «Senegal y la Casamance,» Zamora.
- [4] «Wikipedia,» [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Conflicto\\_de\\_Casamanza](https://es.wikipedia.org/wiki/Conflicto_de_Casamanza). [Último acceso: mayo 2019].
- [5] G. Minke, Manual de construcción en Tierra, Fin de Siglo, 1994.
- [6] L. Watson, K. McCabe, «The cob building technique. Past, present and future,» Informes de la Construcción Vol. 63, 523, 2011.
- [7] L. Keefe, «The Cob buildings of Devon,» Devon Historic Building Trust, Devon, 1992.
- [8] Jaime Cid, Ignacio Cañas, «Construcción con Tierra: Materias primas,» Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos UPM, Madrid, 2009.
- [9] J. J. C. Falceto, «Tesis Doctoral. Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2012.
- [10] «Construmatica,» [En línea]. Available: [https://www.construmatica.com/construpedia/Bloque\\_de\\_Hormig%C3%B3n](https://www.construmatica.com/construpedia/Bloque_de_Hormig%C3%B3n).
- [11] S. Bestraten, E. hormías, A. Altemir, «Construcción con tierra en el siglo XXI,» Informes de la construcción, vol. 63, 2011.
- [12] AENOR, «UNE-EN 771-3:2011+A1 Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería Parte 3: BLOques de hormigón (áridos densos y ligeros),» Madrid, 2016.
- [13] G. P. S.L., «Ficha técnica bloque BTC bioterre,» Girona.
- [14] K. Heathcote, «The thermal performance of earth buildings,» Informes de la construcción Vol. 63, 523, 2011.
- [15] C. T. d. I. Edificación, «DB- Seguridad Incendios (SI),» 2005.
- [16] A. E. I. (AVEI), «Compressed Stabilised Earth Block,» [En línea]. Available: [http://www.earth-auroville.com/compressed\\_stabilised\\_earth\\_block\\_en.php](http://www.earth-auroville.com/compressed_stabilised_earth_block_en.php). [Último acceso: junio 2019].
- [17] M. Etxeberria, «Introduction to Embodied Carbon».



- [18] AENOR, «UNE 41410 Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo,» Madrid, 2008.
- [19] M. Rocha, «CEB Dossier,» CEDACTerra, Badajoz, 2007.
- [20] H. Houben, H. Guillaud, Earth Construction: a comprehensive Guide, Londres: Intermediate Technology Publications, 1994.
- [21] CRATerre, «Le bloc de terre comprimée,» GATE, Eschborn, 1991.
- [22] Hubert Guillaud, Thierry Joffroy, Pascal Odul, «Blocs de terre comprimée Volume II. Manuel de conception et de construction,» CRATerre-EAG, 1995.
- [23] V. Rigassi, Compressed earth blocks Volume I. Manual of production, CRATerre-EAG, 1985.
- [24] R. Etchebarne, G. Piñeiro, J. C. Silva, «Proyecto Terra Uruguay. Montaje de prototipos de vivienda a través de la utilización de tecnologías en tierra: Adobe, Fajina y BTC,» Unidad Regional de Estudios y Gestión del Hábitat, Uruguay, 2005.
- [25] Luis Fernando Guerrero Baca, Javier Soria, Beatriz García, «La arquitectura construida en tierra, Tradición e Innovación. La cal en el diseño y conservación de arquitectura de tierra,» Cátedra Juan de Villanueva, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid, Valladolid, 2010.
- [26] Rosario Tovar Alcázar, José Roberto García Chavez, «La cal y la calidad en la vivienda bioclimática,» Universidad Autónoma Metropolitana- Unidad Azcapotzalco, México D.F.
- [27] U. N. C. f. H. S. UNCHS, «Compressed Earth Blocks (CEB),» Auroville, India.
- [28] AENOR, «UNE 80-103-86 Métodos de ensayo de cemento,» Madrid, 1986.
- [29] Cementos Portland Valderrivas, «EN 197-1 CEM II/B-L 32,5 R,» Palencia, 2011.
- [30] J. C. Díaz, «Informe de lo aprendido sobre los bloques de tierra comprimida durante la construcción del edificio prototipo,» Foundawtion, 2016.
- [31] AENOR, «UNE-EN 772-1: 2011+A1 Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión,» Madrid, 2016.
- [32] T. Jarquín, «TFM. Durabilidad del tapial (tierra apisonada) con áridos reciclados y estabilizado con cemento,» ETSECCPB, UPC, Barcelona, 2015.

## 9. ANEJOS

---

Se adjuntan como anejos:

- Cronograma real de la fase constructiva de la biblioteca y el porche
- Presupuesto de la fase constructiva de la biblioteca y del porche
- Carteles explicativos del proyecto para recaudar fondos